

Analysis of discontinuities in the Lashotor stone quarry complex (south of Isfahan) and its importance in extraction optimization

Parisa Tanzadeh¹, Ali Farzipour saein^{2*}, Homayon Safaei²

1- Master of Tectonics, Department of Geology, University of Isfahan

2- Associate Professor, Department of Geology, University of Isfahan

Keywords: Analysis of discontinuities, Lashotor stone quarry complex, Optimal extraction, Fracture modeling, Discontinuities, Economic efficiency

1-Introduction

Lashotor stone quarry complex in Sanandaj-Sirjan structural zone is located in Cretaceous limestone units south of Isfahan. This mining complex is located between Kolah Ghazi and Baharestan with a northwest-southeast direction with reverse and dextral strike-slip components.

This mining complex is faced with low efficiency in extraction due to severe crushing of stone and low production efficiency of blocks with suitable economic volume. This manuscript aims to survey and analyze discontinuities in three locations of the stone quarry complex to provide a suitable solution to increase extraction efficiency.

Stone blocks contain intact rocks and discontinuity networks, which are essential discontinuities. The intersection of discontinuities in rock mass creates different dimensions of rock blocks (Yarahmadi, 2017). Microcracks, cracks, fissures, bedding planes, joints, shear zones, faults, and stylolite constitute the significant discontinuities found in the rock mass (Palmström et al., 2001).

2- Methodology

Remote sensing techniques checked out fractures in the Lashotor stone quarry complex, and then the field survey of three points in this stone quarry complex was performed. Finally, fracture investigation was done and analyzed according to the chart below (Fig. 1).

3- Results

In three faces of this quarry complex, discontinuities' status has been extracted, including bedding, different types of joints, and stylolites. By drawing rose diagrams and stereograms of discontinuities at three stations, it was found that the foremost effective discontinuities with a large number of stylolites are in this range, mainly stylolites are parallel to the layering.

A computer model is primarily essential for conducting geological research. Implementation of the modeling method leads to a new approach of making maximum use of existing data to understand better and obtain the extraction block's size (Xu and Wu, 2001).

3DEC (3Dimensional Distinct Element Code) software was used (Mansouri, 2000) to model the mine discontinuities and calculate the created block's volume. One of the software's variables for each face is identifying the main strike of discontinuities and the distance between them. These variables are modelled on a 30-meters scale in two stages: 1- without the effect of extraction path and 2- with the extraction path.

In this study, only the main strike of the discontinuities is modeled. The results of the three-dimensional modeling for the three faces are presented in Table 1.

*Corresponding author: a.farzipour@sci.ui.ac.ir

DOI: 10.22055/AAG.2020.31733.2061

Received 2019-11-16

Accepted 2020-12-24

Considering the discontinuities, dimensions of the steps in each face, and unusable volume of extracted stone in each step suggest changing the extraction face's strike to increase the extraction efficiency. For this purpose, different strikes were examined to determine the best direction to increase efficiency for each extraction face. From an economic point of view, the blocks with a volume of fewer than 3m³ have been considered. The results of changing the three studied faces' strike to increase the extraction efficiency are presented in Table 2.

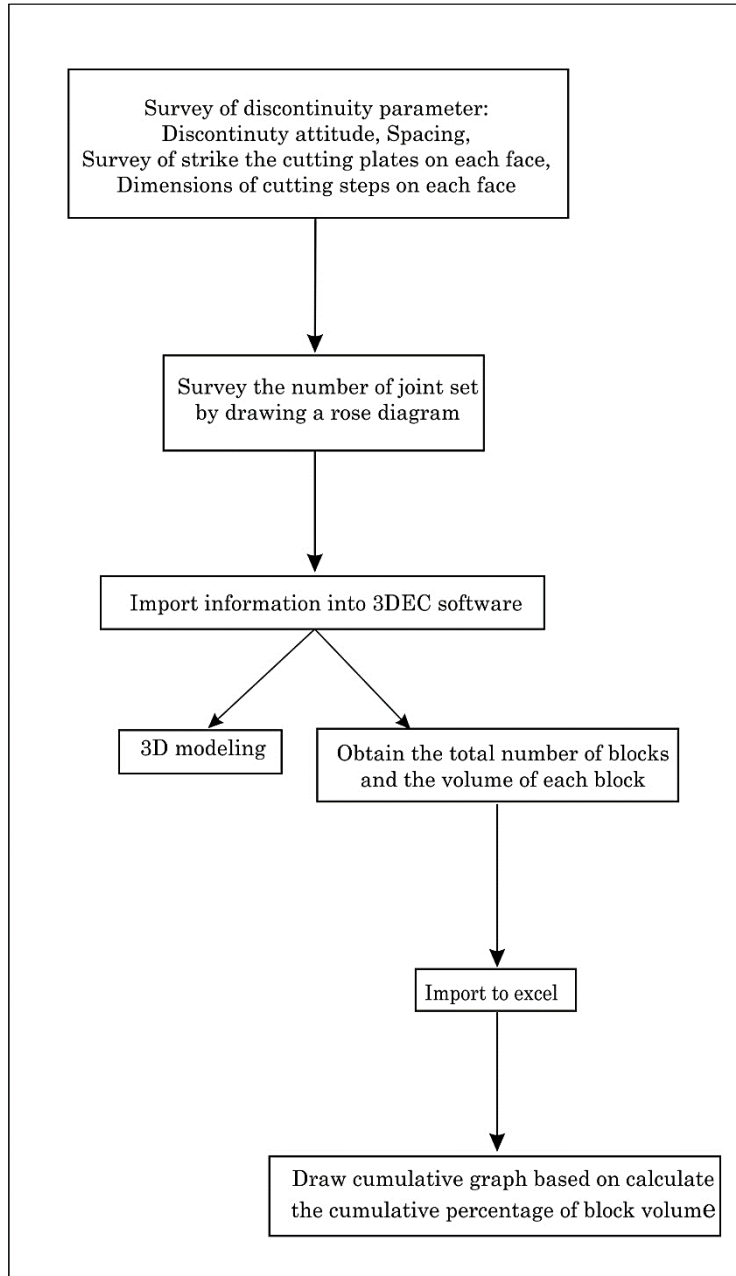


Fig. 1. The flowchart 3D modeling of discontinuities and cumulative block volume diagrams.

4- Conclusion

Implementing the modeling method makes maximum use of available data and better understanding to obtain the best extraction path. To model discontinuities, their essential characteristics in each face are determined by conducting field studies.

By comparing the current extraction path with our suggested extraction path, it was found that the extraction direction within the quarry is wrong and has caused a significant increase in the rate of crushed rocks. Finally, new directions were suggested for three faces to increase productivity and reduce waste in the quarry.

Table 1. Joint set specifications and volume percentages less than 3 cubic meters: (I) No effect of extraction path- (II) By affecting the extraction path.

| Face | Main discontinuity sets = Strike and dip direction | Dimensions of the block | % Volume < 3 m ³ |
|------|--|-------------------------|-----------------------------|
| 1 | 110 / 20 NE | 3×10×15 m | I 4/76 |
| | | | II 27/98 |
| 2 | 140 / 15 NE | 2×6×5 m | I 5/88 |
| | | | II 30/35 |
| 3 | 85 / 10 SE | 2×6×12 m | I < 1 |
| | | | II 18/79 |

Table 2. Results of changes in direction of three faces in order to increase extraction efficiency.

| Face | Strike of Faces | A=Existing extraction path was considered; % Volume < 3 m ³ | Suggested direction | B =according to Suggested direction; % Volume < 3 m ³ | % Decreased = A-B |
|------|-----------------|--|---------------------|--|-------------------|
| 1 | 135° | 27/98 | 90° | 12/01 | 15/97 |
| | | | 0 | 12/24 | 15/74 |
| 2 | 75° | 30/835 | 90° | 21/79 | 21/79 |
| | | | 0 | 22/31 | 22/31 |
| 3 | 90° | 18/79 | 0 | 13/52 | 5/27 |

References

- Mansouri, H., 2000. Contribution al analyse des effets des tirs d abattage, Mines de sar chesmeh (Iran), PHD Thesis, 200p.
- Palmstrom, A., 2001. Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). Tunnelling and Underground Space Technology 20, 362-377.

- Xu, H., Wu, Q., 2001. A framework modeling of geological related spatial data in 3D scene. 6th International Symposium on Future Software Technology, Zhengzhou, China, pp. 252-257.
- Yarahmadi, R., Bagherpour, R., Taherian, S.G., Sousa, L.M., 2018. Discontinuity modelling and rock block geometry identification to optimize production in dimension stone quarries. *Engineering Geology* 232, 22-33.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Tanzadeh, P., Farzipour saein, A., Safaei, H., 2022. Analysis of discontinuities in the Lashotor stone quarry complex (south of Isfahan) and its importance in extraction optimization. *Adv. Appl. Geol.* 11(4), 647-670.

DOI: 10.22055/AAG.2020.31733.2061

url: https://aag.scu.ac.ir/article_16251.html?lang=en

تحلیل ناپیوستگی‌ها در مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر (جنوب اصفهان) و اهمیت آن در بهینه

سازی استخراج

پریسا تن زده

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان

علی فرضی پور صائین*

دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان

همایون صفایی

بازنشسته گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۴

*a.farzipour@sci.ui.ac.ir

چکیده

مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر در بخشی از پهنه ساختاری سنندج - سیرجان در جنوب شهر اصفهان واقع شده است. واحدهای آهکی کرتاسه، واحدهای اصلی گسترش یافته در منطقه هستند. در این مجموعه معدنی بدلیل استخراج غیر علمی، باطله‌های فراوان وجود دارد. بررسی و مدل‌سازی ناپیوستگی‌های ساختاری یک گام اساسی در استخراج معادن برای کاهش ضایعات و بهینه‌سازی اقتصادی است. تقاطع ناپیوستگی‌های توده سنگ با راستای جبهه کار، بلوک‌هایی با مشخصات هندسی (تعداد و حجم هر بلوک) مختلفی را ایجاد می‌کند. در هر جبهه کار در بررسی‌های میدانی وضعیت و فاصله‌داری ناپیوستگی‌ها (لایه‌بندی، درزه‌ها و استیلولیت‌ها)، راستا و گام برش جبهه کارهای فعلی اندازه‌گیری شد. امتداد غالب ناپیوستگی‌ها طبق نمودار گل‌سرخ، استیلولیت‌های موازی با امتداد لایه‌بندی هستند که میانگین فاصله‌داری آن‌ها ۱-۱٫۲ متر هستند. با استفاده از نرم‌افزار 3DEC مدل آن ساخته، نمودار درصد حجمی - تراکم آن رسم و میزان درصد بلوک‌های غیراقتصادی محاسبه شد که بیانگر راستای نامناسب جبهه-کارهای فعلی است و سپس به منظور کاهش ضایعات و افزایش راندمان در هر جبهه کار راستاهای مختلف بررسی و مدل‌سازی شد. در نهایت بهترین راستای استخراج پیشنهاد گردید.

کلمات کلیدی: استخراج، معادن سنگ ساختمانی، شکستگی‌ها، بازدهی اقتصادی، مدل‌سازی

مقدمه

ساختمانی بوده و افزایش میزان تراکم آن‌ها تأثیر عمده‌ای در بازدهی استخراج دارد (Jearsarai, 2011). لذا مطالعه و بررسی وضعیت ناپیوستگی‌ها، قبل از شروع عملیات استخراج به منظور برنامه‌ریزی جهت حداکثر کوپ‌دهی، داشتن کمترین میزان ضایعات امری ضروری است (Ulker and Turanboy, 2009). همچنین وضعیت و ویژگی‌های ناپیوستگی‌ها در کنترل اندازه، تعداد و حجم بلوک سنگی قابل استخراج، اهمیت به سزایی دارد (Barton, 1990; Dearman, 2013; Palmstrom and Singh, 2001; Brady and Brown, 2013) به علاوه تولید بهینه بلوک‌های سنگی به طور عمده به اندازه بلوک استخراجی بستگی دارد (Sainsbury et al., 2008; Mosch et al., 2011).

توده سنگ ساختمانی ترکیبی از سنگ و شبکه ناپیوستگی‌ها است. تقاطع ناپیوستگی‌ها در توده سنگ، ابعاد مختلف بلوک‌های

ذخائر معدنی جزء منابع اقتصادی پایان‌پذیر هستند، توجه به شیوه اقتصادی تولید در آن‌ها اهمیت دارد (Orei et al., 2009). یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین کننده در بازدهی اقتصادی معادن سنگ-ساختمانی، روش بررسی استخراج است (Fahimifar, 2002). آنچه امروزه در استخراج سنگ ساختمانی متداول است براساس تجربه‌ی انسانی است و میزان ناپیوستگی از آن فقط براساس روش‌های علمی صورت می‌گیرد و بنابراین ارزیابی توده سنگ استخراج شده براساس تخمین‌های بصری و کیفی بوده است (Tercan and Ozelik, 2000). برای جلوگیری از درصد بالای ضایعات و بهبود روند استخراج، بکارگیری مطالعات زمین‌شناسی منطقه از جمله، مطالعات ناپیوستگی-ها و سپس بکارگیری تکنیک مدل‌سازی روشی مؤثر می‌باشد. رویارویی با ناپیوستگی‌ها از موارد اجتناب‌ناپذیر در بهره‌برداری از معادن سنگ-

بلوک‌های کمتر از ۳ متر مکعب است که باعث خرد شدن زیاد سنگ می‌شود و قابلیت استفاده برای سنگ ساختمانی را ندارد، دانسته است و مسیر استخراجی برای جبهه‌کارهای مورد مطالعه پیشنهاد کردند (Shafi'i, 2012). Yarahmadi و همکاران (۲۰۱۴، ۲۰۱۸) ابتدا هندسه بلوک‌های توده سنگ‌ها درزه‌دار در محیط نرم‌افزار "MATLAB" تعیین کرد و سپس با مطالعه و بررسی‌های گسترده با توجه به شرایط مخصوص معادن سنگ الگوریتمی را برای یافتن بلوک‌های برجا انتخاب کرد که امکان درزه‌ها با گسترش محدود را داشت و براساس الگوریتم‌های مورد نیاز یک برنامه کامپیوتری "3D-Quarry Optimizer" در محیط MATLAB کدنویسی کرد (Yarahmadi et al., 2014, 2018).

منطقه مورد مطالعه مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر، براساس تقسیم‌بندی‌های ساختاری در پهنه سنندج - سیرجان (Ghasemi and Talbot, 2006) در واحدهای آهکی کرتاسه و در ۲۰ کیلومتری جنوب اصفهان واقع شده است (شکل ۱). پهنه‌ی ساختاری سنندج - سیرجان از نظر زمین‌شناسی اقتصادی و پراکندگی کانسارها به ویژه انواع مختلف سنگ‌های ساختمانی با ذخائر زیاد دارای اهمیت است (Ghorbani, 2007). با بررسی مطالعات پیشین و بررسی‌های دورسنجی این محدوده بین دو گسل اصلی بهارستان و کلاه قاضی با امتداد شمال‌غربی - جنوب‌شرقی با عملکرد معکوس و مؤلفه‌ی امتدادلغز راست‌گرد قرار دارد. طبق نظر Safaei (۲۰۰۵) وجود گسل‌های شمالی - جنوبی باعث بریدگی ارتفاعات بهارستان و کلاه قاضی شده است (Safaei, 2005). Nadimi و Konon (۲۰۱۲) در موازات گسل اصلی بهارستان، گسل شمال بهارستان است که بین دو سری گسل اصلی بهارستان و شمال بهارستان گسل‌های ثانویه‌ای با امتداد با امتداد شمال‌شرقی - جنوب‌غربی با مؤلفه‌ی چپ-گرد وجود دارد (Nadimi and Konon, 2012). با بررسی‌های دورسنجی بر روی تصاویر ماهواره‌ای Bing maps حاصل از SAS Planet، تصاویر ماهواره‌ای Google earth و ETM⁺ شکستگی‌ها در محدوده‌ی مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر شناسایی شدند و امتدادهای شکستگی‌های شناسایی شده طبق نمودار گل‌سرخ، امتداد شمالی - جنوبی، شرقی - غربی و امتداد شمال‌غربی - جنوب - شرقی است که جهت صحت‌سنجی این امر بررسی‌های میدانی در این مجموعه معدنی صورت گرفت که بیانگر تأیید نتایج نمودار گل‌سرخ حاصل از مطالعات دورسنجی است (Tanzadeh, 2017).

در این مقاله پیشرو، با هدف بهینه‌سازی استخراج سنگ - ساختمانی، ابتدا تمامی ناپیوستگی‌های رخنمون یافته و در سطح برش سینه‌کارهای فعال مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر برداشت شد و با رسم نمودار گل‌سرخ، مؤثرترین امتداد، با نظر گرفتن طول

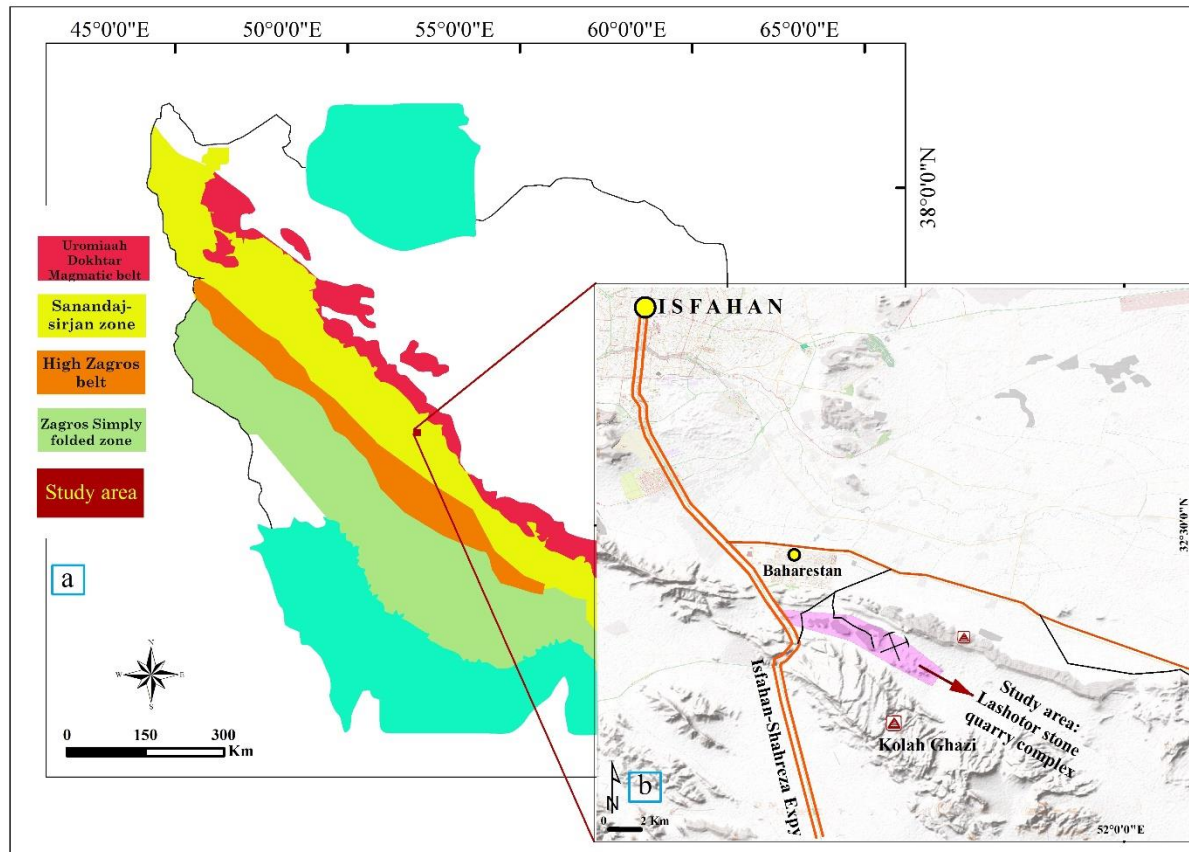
سنگی را ایجاد می‌کند (Yarahmadi et al., 2018). ریزترک‌ها، ترک‌ها، جداشدگی‌ها، سطح لایه‌بندی، درزه‌ها، نواحی برشی، گسل‌ها و استیلولیت‌ها ناپیوستگی‌های مهمی هستند که توده سنگ را تشکیل می‌دهند (Palmstrom, 2005). شکستگی‌ها به صورت شکستگی - های باز (درزه)، شکاف، رگه و علاوه بر آن استیلولیت‌ها (شکستگی‌های تراکمی) هستند (Fossen, 2016). در سنگ‌های آهکی، دولومیتی و ماسه سنگ‌ها ساختار استیلولیت، سطوح انحلالی مرتبط با تنش انقباضی یا برشی و به صورت موازی یا تقریباً موازی با سطح لایه‌بندی با دفن (تنش فشاری) رسوبات شکل می‌گیرند (McClay, 2013). فرآیند استیلولیتی شدن در ویژگی‌های مکانیکی و مقاومتی سنگ بسیار مؤثر است (Larbi, 2003) در معادن سنگ ساختمانی، استیلولیت‌ها در صورت توسعه می‌تواند موجب افت کیفیت سنگ شود و بررسی آن بسیار مهم است (Arzani, 2007).

از جمله مطالعات در زمینه بهینه‌سازی استخراج سنگ ساختمانی می‌توان به Warburton (۱۹۸۳، ۱۹۸۵) براساس پارامترهای هندسی توده‌ی سنگ، روشی را ارائه کرد و براساس آن نرم‌افزاری را نیز توسعه داد که در این پژوهش ناپیوستگی‌ها را موازی و نامحدود فرض کرد (Warburton, 1983, 1985). Palmstrom (۲۰۰۵، ۱۹۹۶، ۱۹۸۵) با مطالعات زیاد با استفاده از پارامترهای هندسی و شبکه‌ها از درزه‌های بدست آمده حجم بلوک را بدست آورد (Palmstrom, 1985, 1996, 2005). Wang و همکاران (۱۹۹۱) با نمونه‌گیری، تحلیل و توزیع ناپیوستگی‌ها براساس روش - های عددی در سیستم نرم‌افزاری به نام "MAKEBLOCK" مدل سه بعدی ارائه کرد (Wang et al., 1991).

Sen و Eissa (۱۹۹۲) با اندازه‌گیری‌های میدانی پارامترهای مختلف ناپیوستگی‌ها و شاخص کیفیت سنگ با توجه به پیچیدگی روابط، نتایج را در قالب نمودارهای مختلفی ارائه کرد و حجم بلوک‌های بدست آمده را تخمین زد (Sen and Eissa, 1992). Sousa (۲۰۱۰) به بررسی تأثیر ویژگی‌های درزه در ارزیابی اندازه بلوک سنگی پرداخت و تأثیرات بصری و غیرعلمی از بهره‌برداری سنگ - ساختمانی در معادن را می‌توان در باطله‌های زیاد رها شده در مجاورت جبهه‌کار و محیط معدن دید (Sousa, 2010). Mosch و همکاران (۲۰۱۱) بررسی تأثیر جهت‌گیری درزه‌ها بر روی اندازه، شکل بلوک‌ها و بهینه‌سازی اندازه بلوک با به کارگیری الگوریتم عددی و تهیه نرم - افزار "3D-Block Expert" به صورت سه بعدی مدل کردند (Mosch et al., 2011). Shafi'i و همکاران (۲۰۱۲) ناپیوستگی - های برداشت شده در محیط نرم‌افزار "3DEC" که بر مبنای روش المان مجزا است، مدل‌سازی کردند و براساس پارامترهای هندسی حجم بلوک‌ها را بدست آوردند و حجم بلوک‌های غیر اقتصادی، حجم

تجمعی آن رسم و میزان ضریب همبستگی بدست آمد. حجم کم تر از ۳ مترمکعب را به دلیل خردشدگی زیاد و غیرقابل استفاده بودن در سنگ ساختمانی، حجم غیر اقتصادی دانسته (Shafi'i, 2012) و میزان آن محاسبه شده است و در انتها با بررسی راستاهای مختلف، بهترین راستا پیشنهاد شده است.

ناپیوستگی‌ها با تعداد فراوانی زیاد، شناسایی شد و سپس بر اساس روش تحلیل عددی با استفاده از نرم‌افزار المان مجزای 3DEC برای بدون در نظر گرفتن راستای استخراج (ابعاد مدل، مؤثرترین امتداد و فاصله‌داری ناپیوستگی) و با در نظر گرفتن راستای استخراج جبهه‌کار فعلی (ابعاد مدل، مؤثرترین امتداد و فاصله‌داری ناپیوستگی، ابعاد پله برش و راستای استخراج فعلی) مدل آن ساخته، نمودار درصد حجمی -



شکل ۱- (a) قرارگیری منطقه مورد مطالعه (مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر) در پهنه ساختاری سندج - سیرجان و (b) موقعیت مجموعه معدنی در ۲۰ کیلومتری اصفهان و راه‌های دسترسی به آن.

Fig. 1. (a) Location of Lashotor stone quarry complex (south of Isfahan), and (b) Location of Lashotor stone quarry complex in 20 km of Isfahan and ways to access it.

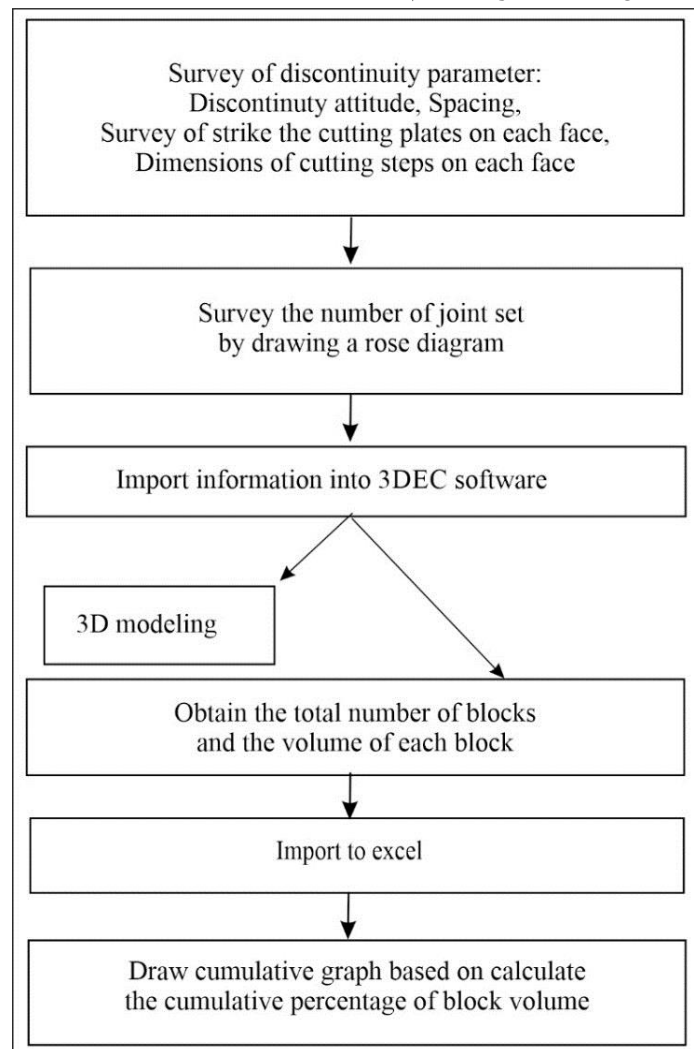
روش انجام کار

۱- برداشت پارامترهای هندسی ناپیوستگی‌ها که شامل وضعیت درزه-ها، وضعیت لایه‌بندی، فاصله‌داری درزه‌ها و همچنین برداشت راستای دیواره‌های جبهه‌کار، ابعاد پله (گام برش × عرض × ارتفاع).
 ۲- رسم نمودار گل‌سرخ‌ی از امتداد ناپیوستگی‌ها به منظور به دست آوردن امتداد(های) اصلی ناپیوستگی.
 ۳- مدل‌سازی براساس برداشت‌های صحرائی در محیط نرم‌افزار 3DEC (3 Dimensional Distinct Element Code) و به دست آوردن تعداد و حجم بلوک‌ها در دو مرحله بدون تأثیر پله استخراجی و با تأثیر پله استخراجی.

طبق نتایج از بررسی‌های گسترده مطالعات پیشین، بررسی‌های دورسنجی و میدانی از محدوده مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر (Tanzadeh, 2017) در این پژوهش پیش‌رو، سه جبهه‌کار از این مجموعه معدنی باتوجه به هدف بهینه‌سازی استخراج بلوک‌های ساختمانی، تمامی ناپیوستگی رخنمون یافته و در سطح برش سینه-کارهای فعال و غیرفعال برداشت شد. بر اساس الگوی ارائه شده مراحل زیر صورت گرفت (شکل ۲):

تجمعی بلوک‌های غیر اقتصادی، رسم نمودار تجمعی - حجمی و بررسی راستاهای مختلف و در نهایت پیشنهاد بهترین راستا.

۴- استخراج داده‌ها از هر دو مرحله (بدون در نظر گرفتن راستای استخراج و با در نظر گرفتن راستای استخراج جبهه‌کار فعلی) از محیط نرم‌افزار 3DEC، ورود آن به محیط اکسل، محاسبه درصد حجم



شکل ۲- الگوی مدل‌سازی سه بعدی ناپیوستگی‌ها برای تهیه نمودار تجمعی حجم بلوک.

Fig. 2. The flowchart of 3D modeling of discontinuities and for creating cumulative block volume diagrams.

فرونشست سنندج - سیرجان رسوبات آواری و کربناتی انباشته شده است (Aghanabati, 2004). پهنه سنندج - سیرجان لبه‌های گسلی بسیار مشخصی با حوضه‌های مجاور دارد (Darvishzadeh, 1991). در حاشیه و میانه این پهنه‌ی ساختاری چهار زون گسلی اصلی با عملکرد معکوس و مؤلفه امتداد لغز با راستای شمال غرب - جنوب شرق شناسایی شده است که زون‌های گسلی از سمت شمال شرق با سمت جنوب غرب شامل زون گسلی حاشیه ارومیه - دختر، زون گسلی نجف‌آباد - کلاه قاضی، زون گسلی حاشیه کمانی زاینده‌رود، زون گسلی اصلی زاگرس است و دسته گسل‌های فرعی بین ارومیه - دختر و زون گسلی نجف‌آباد - کلاه قاضی با عملکرد امتداد لغز راستگرد با

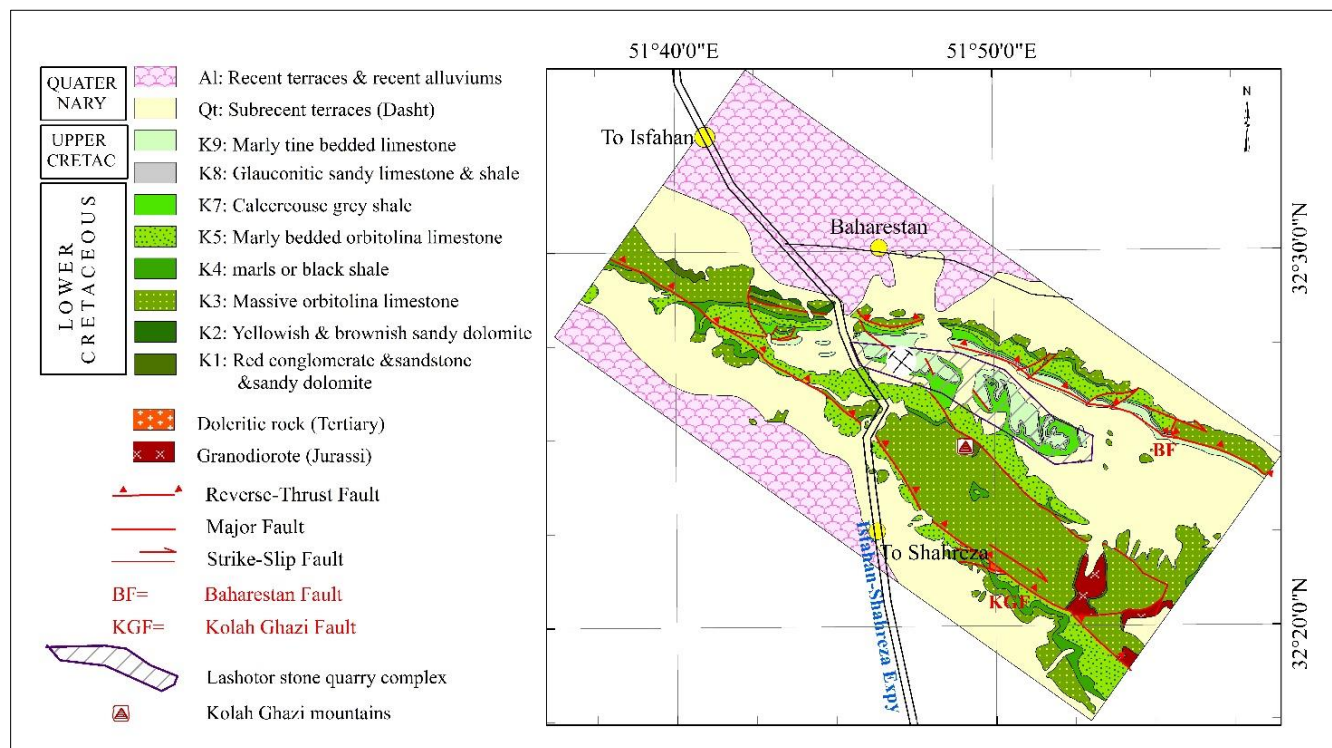
زمین‌شناسی محدوده‌ی مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر

محدوده‌ی مورد مطالعه براساس تقسیم‌بندی‌های ساختاری در پهنه ساختاری سنندج - سیرجان (Ghasemi and Talbot, 2006) واقع شده است. فرایندهای زمین‌ساختی در این پهنه ابتدا رژیم زمین‌ساخت کششی و سپس بعدی طی یک واژگونی زمین-ساختی در یک رژیم فشارشی حاصل همگرایی بوده است (Shaykh al-Islami, 2014). این پهنه از اواخر پالئوزوئیک پیشین به حوضه-ای در حال فرونشست تبدیل شده و به علت نیروهای کششی مؤثر در

گلوکونیستی است (Aghanabati, 2004; Darvishzadeh, 1991; Zahedi, 1976) (شکل ۳a). فوقانی ترین واحد کرتاسه در محدوده - ی مورد مطالعه، آهک های نازک لایه و مارن خاکستری به سن تورنین می باشد (Darvishzadeh, 1991) (شکل ۴). محدوده ی مورد مطالعه بین دو گسل کلاه قاضی و بهارستان با عملکرد معکوس و مؤلفه ی امتدادلغز راست گرد، واقع شده است (Nadimi and Konon, 2012). ساختارهای بزرگ مقیاس که در مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر با بررسی دور سنجی بسیار بارز است، بلوک های دومینویی با جابجایی راست گرد در غرب محدوده می باشد (Tanzadeh, 2017). از ساختارهای بسیار مشهود که در لایه بندی های رخمون یافته و سطح برش جبهه کارهای فعال و غیرفعال در این مجموعه سنگ ساختمانی در واحدهای آهکی وجود دارد، ساختار استیولیستی عمدتاً موازی با لایه بندی است (Tanzadeh, 2017).

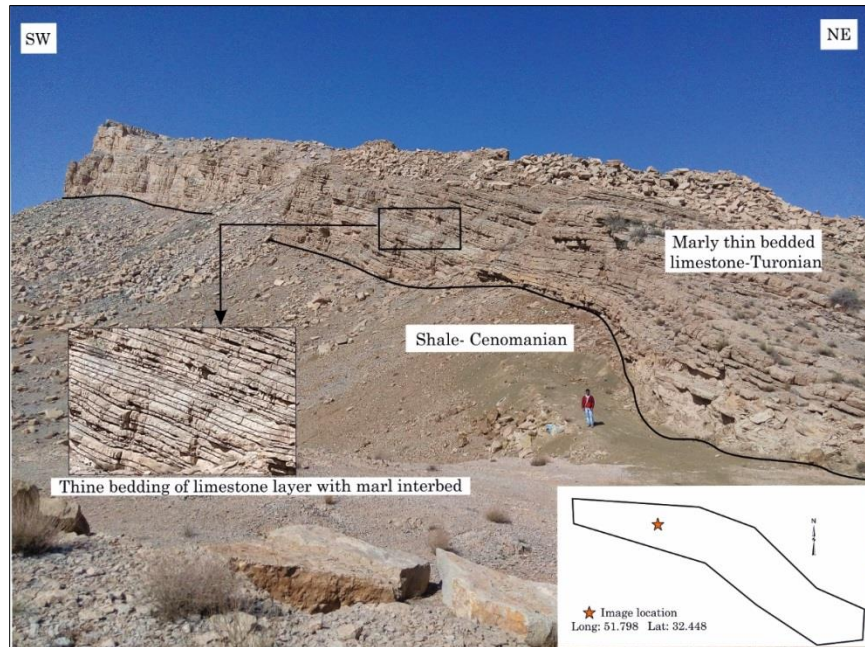
راستای شمال غرب - جنوب شرق است (Tillman et al., 1981). گسل اصفهان با راستای شمالی - جنوبی پهنه ساختاری سنندج - سیرجان را قطع می کند که این گسل دیرین و پی سنگی است (Safaei, 2009). همه سنگ های پهنه سنندج - سیرجان را می توان در سه واحد زمین ساختی - چینه نگاشتی پرکامبرین پسین - تریاس میانی، تریاس بالایی - کرتاسه و مجموعه ترشیری جای داد (Aghanabati, 2004).

قدیمی ترین سنگ هایی که می توان در محدوده ی مورد مطالعه مشاهده کرد مربوط به دوره ژوراسیک پایین با رخمون بسیار کم شامل واحد از کنگلومرا، ماسه سنگ و شیل ساخته شده است و بارزترین توالی سنگ شناسی منطقه اصفهان مربوط به کرتاسه عبارت است از ماسه سنگ، کنگلومرا، دولومیت ضخیم لایه، آهک های دولومیتی، آهک های ضخیم لایه خاکستری تیره تا قهوه ای رنگ، آهک توده ای اربیتولین دار، واحدهای شیلی و مارنی، آهک ماسه ای



شکل ۳- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه، برگرفته از نقشه زمین شناسی شهرضا به مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ با اصلاحات (زاهدی، ۱۳۵۵) و قرارگیری موقعیت محدوده مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر.

Fig. 3. Geological map of the study area, retrieved from Shahreza Geological Map at 1: 100,000 scale with corrections (Zahedi, 1976) and location of the Lashotor stone quarry complex.

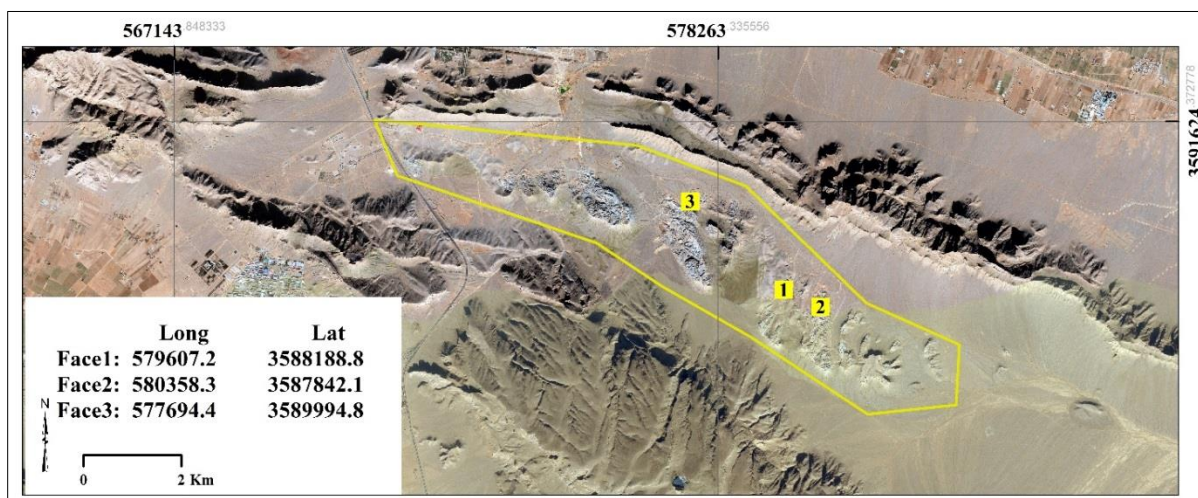


شکل ۴- نمایی از لایه‌های آهکی نازک‌لایه با میان لایه‌های مارنی به سن تورنین بر روی شیل‌های سنومانین (موقعیت عکس 32.448° - 51.798°).
 Fig. 4. View of thin bedded limestone layers of Turonian with marly interbeds above the Cenomanian shales (Image location 51.798° - 32.448°).

استیلولیت‌ها برداشت شده است (شکل ۵). در ادامه نمودارهای گل‌سرخ و استریوگرام ناپیوستگی‌های این سه ایستگاه ترسیم شدند.

مطالعه ناپیوستگی‌ها در سه جبهه کار از مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر

با مطالعات در سه جبهه کار از مجموعه معدنی لاشتر، وضعیت ناپیوستگی‌ها شامل لایه‌بندی، انواع درزه‌ها و

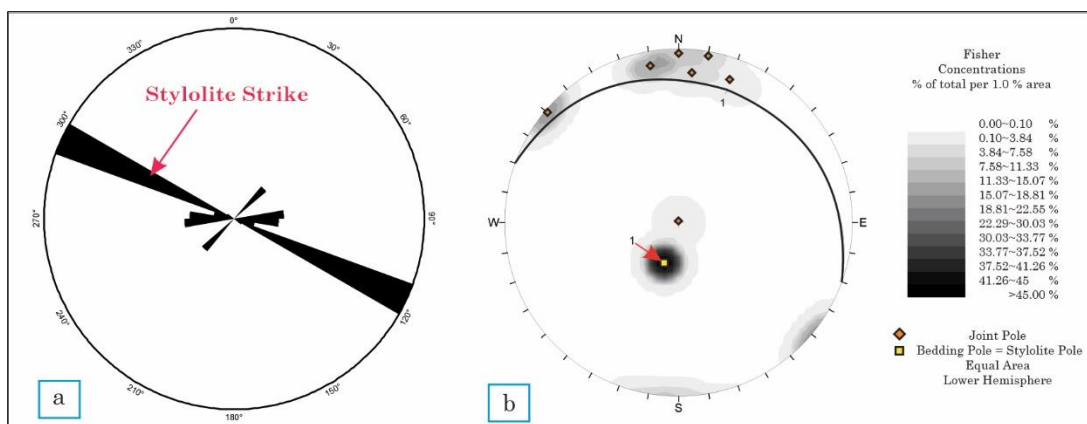


شکل ۵- قرارگیری محدوده مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر و موقعیت سه جبهه کار مورد مطالعه بر روی تصویر Bing Maps-Satellite از نرم‌افزار SAS Planet.

Fig. 5. Location of the Lashotor stone quarry complex and the three faces studied on the Bing Maps-Satellite image from SAS Planet software.

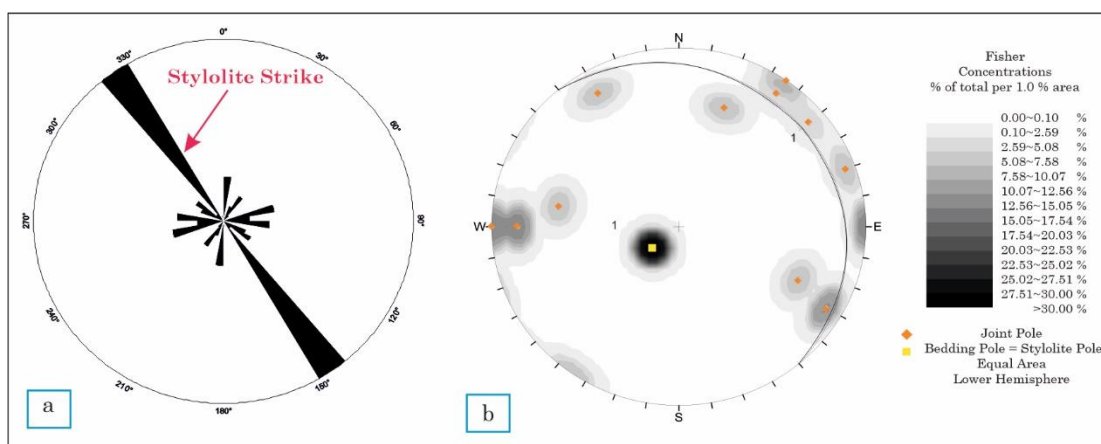
در محدوده‌ی جبهه‌کار شماره ۲، دسته ناپیوستگی‌ها دارای وضعیت، $140^{\circ}/15^{\circ}\text{NE}$, $205^{\circ}/60^{\circ}\text{NW}$, $210^{\circ}/80^{\circ}\text{SW}$, $110^{\circ}/10^{\circ}\text{SE}$, $125^{\circ}/90^{\circ}$, $130^{\circ}/80^{\circ}\text{SW}$, $60^{\circ}/75^{\circ}\text{SE}$ ، و امتداد دسته ناپیوستگی‌ها $160^{\circ}/80^{\circ}\text{SW}$, $0^{\circ}/75^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ}/90^{\circ}$, $90^{\circ}-100^{\circ}$, $110^{\circ}-120^{\circ}$, $140^{\circ}-150^{\circ}$, $0^{\circ}-10^{\circ}$, $30^{\circ}-40^{\circ}$ ، $70^{\circ}-80^{\circ}$ ، $80^{\circ}-90^{\circ}$ است. امتداد اصلی با نظر گرفتن طول ناپیوستگی‌ها با تعداد فراوانی زیاد، ناپیوستگی‌ها $140^{\circ}-150^{\circ}$ دارای وضعیت $140^{\circ}/15^{\circ}\text{NE}$ هستند که این وضعیت بیانگر ناپیوستگی‌های استیلولیت موازی با امتداد لایه‌بندی است (شکل ۷).

در محدوده‌ی جبهه‌کار شماره ۱، دسته ناپیوستگی‌ها دارای وضعیت، $110^{\circ}/20^{\circ}\text{NE}$, $120^{\circ}/0^{\circ}$, $90^{\circ}/88^{\circ}\text{S}$, $110^{\circ}/75^{\circ}\text{SW}$ ، و $100^{\circ}/88^{\circ}\text{SW}$, $90^{\circ}/75^{\circ}\text{SW}$, $80^{\circ}/80^{\circ}\text{SE}$, $40^{\circ}/88^{\circ}\text{SE}$ امتداد دسته ناپیوستگی‌ها، $110^{\circ}-120^{\circ}$ ، $40^{\circ}-50^{\circ}$ ، $80^{\circ}-90^{\circ}$ ، $90^{\circ}-100^{\circ}$ ، $100^{\circ}-110^{\circ}$ است. امتداد اصلی با نظر گرفتن طول ناپیوستگی‌ها با تعداد فراوانی زیاد، ناپیوستگی‌ها با راستای $110^{\circ}-120^{\circ}$ و وضعیت $110^{\circ}/20^{\circ}\text{NE}$ هستند که این وضعیت بیانگر ناپیوستگی‌های استیلولیت موازی با امتداد لایه‌بندی است (شکل ۶).



شکل ۶- جبهه کار ۱: (a) نمودار گل‌سرخ‌ی ناپیوستگی‌ها با امتداد اصلی $110^{\circ}-120^{\circ}\text{Az}$ و (b) استرایوگرام صفحات ناپیوستگی با وضعیت غالب $110^{\circ}/120^{\circ}\text{NE}$.

Fig. 6. Face1: (a) Rose diagram of discontinuities strike the main Az: $110^{\circ}-120^{\circ}$ and (b) Stereogram of discontinuities with dominant striking of Az $110^{\circ}/20^{\circ}\text{NE}$ for the planes.

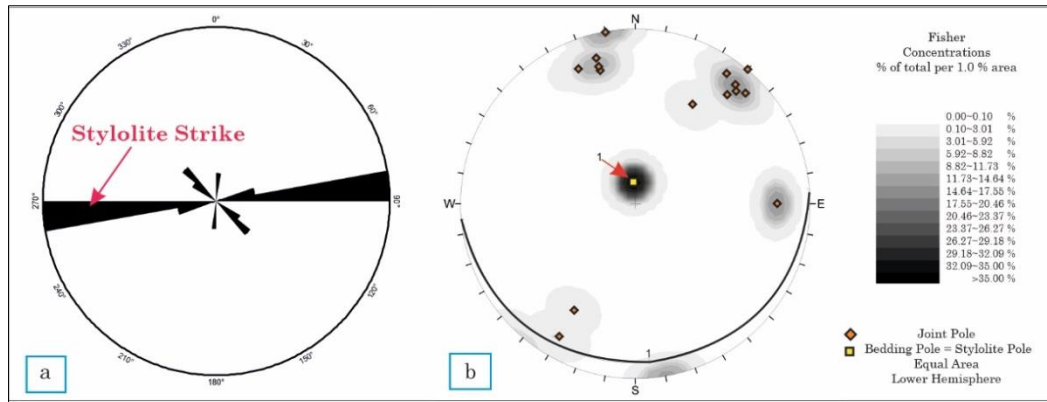


شکل ۷- جبهه‌کار ۲: (a) نمودار گل‌سرخ‌ی ناپیوستگی‌ها با امتداد اصلی $140^{\circ}-150^{\circ}\text{AZ}$ و (b) استرایوگرام اغلب صفحات ناپیوستگی با وضعیت $140/15\text{NE}$.

Fig. 7. Face 2: (a) Rose diagram of discontinuities strike the main AZ: $140^{\circ}-150^{\circ}$ and (b) Stereogram of discontinuities with dominant striking of Az $140^{\circ}/15^{\circ}\text{NE}$ for the planes.

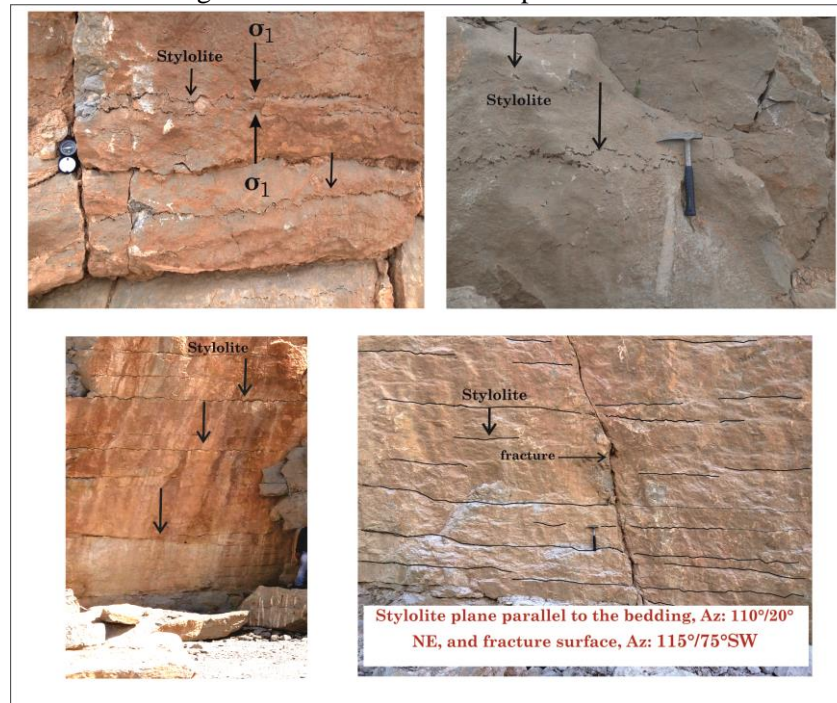
دارای وضعیت $85^{\circ}/10^{\circ}$ SE هستند که این وضعیت بیانگر ناپیوستگی‌های استیلولیت موازی با امتداد لایه‌بندی است (شکل ۸).
 با در نظر گرفتن نمودار گل‌سرخ و استرایوگرام در هر سه جبهه-کار مشخص شد که با نظر گرفتن طول ناپیوستگی‌ها با تعداد فراوانی زیاد استیلولیت‌ها می‌باشند که در این محدوده عمدتاً موازی با امتداد لایه‌بندی نیز هستند. شکل ۹ نمونه‌هایی از شکستگی‌های برداشت شده در محدوده جبهه‌کارهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در محدوده‌ی جبهه‌کار شماره ۳، دسته ناپیوستگی‌ها با وضعیت $80^{\circ}/10^{\circ}$ SE, $75^{\circ}/70^{\circ}$ SE, $75^{\circ}/75^{\circ}$ SE, $67^{\circ}/73^{\circ}$ SE, $130^{\circ}/78^{\circ}$ SW, $75^{\circ}/68^{\circ}$ SE, $125^{\circ}/80^{\circ}$ SW, $130^{\circ}/75^{\circ}$ SW, $300^{\circ}/60^{\circ}$ NE, $80^{\circ}/90^{\circ}$, $130^{\circ}/90^{\circ}$, $180^{\circ}/70^{\circ}$ W و امتداد دسته ناپیوستگی‌ها $70^{\circ}-80^{\circ}$, $0^{\circ}-10^{\circ}$ است. امتداد اصلی با نظر گرفتن طول ناپیوستگی‌ها با تعداد فراوانی زیاد، ناپیوستگی $80^{\circ}-90^{\circ}$



شکل ۸- جبهه کار ۳: (a) نمودار گل‌سرخ ناپیوستگی‌ها با امتداد اصلی $80^{\circ}-90^{\circ}$ AZ و (b) استرایوگرام اغلب صفحات ناپیوستگی با وضعیت AZ $85^{\circ}/10^{\circ}$ SE می‌باشد.

Fig. 8. Face 3: (a) Rose diagram of discontinuities strike the main AZ: $80^{\circ}-90^{\circ}$ and (b) Stereogram of discontinuities with dominant striking of Az $85^{\circ}/10^{\circ}$ SE for the planes.



شکل ۹- نمایی از شکستگی‌ها و استیلولیت‌های برداشت شده در محدوده جبهه‌کارهای مورد مطالعه.

Fig. 9. View of fractures and stylolites measured in the study feces.

مدل سازی ناپیوستگی ها در سه جبهه کار از مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشر

امروزه تهیه مدل رایانه‌ای برای انجام پژوهش‌های زمین‌شناسی امری ضروری است. اجرای روش مدل‌سازی باعث رویکرد جدید استفاده حداکثر از داده‌های موجود برای درک بهتر و به دست آوردن اندازه بلوک استخراجی است (Xu and Wu, 2001).

به منظور مدل‌سازی ناپیوستگی‌های معدن و محاسبه حجم بلوک ایجاد شده توسط ناپیوستگی‌ها از نرم‌افزار 3DEC استفاده شده است (Baecher, 1983; Mansouri, 2000). نرم‌افزار 3DEC یک برنامه سه‌بعدی است که براساس روش المان مجزا، برای مدل‌سازی محیط‌های ناپیوسته، بکار می‌رود. در مدل‌سازی به روش المان مجزا، توده سنگ به صورت مجموعه‌ای متشکل از بلوک‌های صلب و با تغییر شکل پذیر در نظر گرفته شود. در این روش سطوح ناپیوستگی به مانند مرزهای مجزا در بین بلوک‌ها فرض می‌شوند. این نرم‌افزار قادر می‌باشد که محیط‌های ناپیوسته، مانند توده سنگ‌های درزه را تحت شرایط بارگذاری دینامیکی یا استاتیکی شبیه‌سازی و تحلیل کند (Itasca, 2016).

از متغیرهای مورد استفاده در نرم‌افزار برای هر جبهه کار شناسایی امتداد اصلی و فاصله‌داری ناپیوستگی‌ها می‌باشد. این متغیرهای ذکر شده در مقیاس ۳۰ متری در دو مرحله بدون در نظر گرفتن راستای استخراج (ابعاد مدل، مؤثرترین امتداد و فاصله‌داری ناپیوستگی) و با در نظر گرفتن راستای استخراج جبهه کار فعلی (ابعاد مدل، مؤثرترین امتداد و فاصله‌داری ناپیوستگی، ابعاد پله برش و راستای استخراج فعلی) مدل آن ساخته، نمودار درصد حجمی-تجمعی آن رسم و میزان درصد حجمی بلوک‌های غیر اقتصادی آن محاسبه شد. قابل

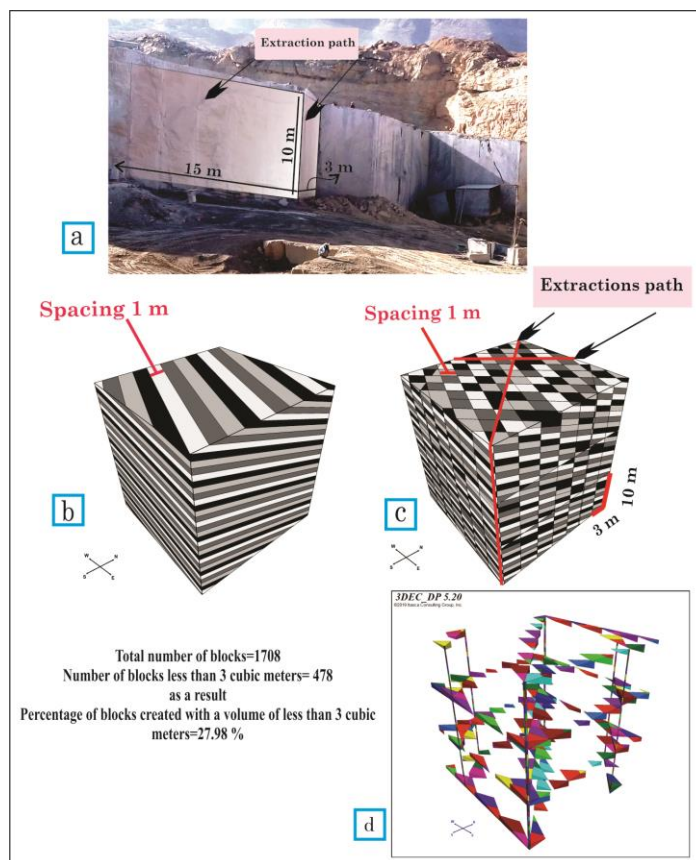
ذکر است در مدل‌سازی صورت گرفته، براساس مطالعات پیشین و خصوصیات این مجموعه معدنی، بر روی ناپیوستگی‌های نوع لایه بندی تمرکز صورت گرفته است و با توجه به اثر بسیار ناچیز سایر ناپیوستگی‌ها از آنها صرف نظر شده است.

در جبهه کار ۱ وضعیت لایه‌بندی $110^{\circ}/20^{\circ}$ NE و ابعاد پله جبهه کار $3 \times 10 \times 15$ متر است. ارتفاع پله استخراجی ۱۰ متر است که از دو طبقه لایه‌بندی ۶ و ۴ متر تشکیل شده است. این جبهه کار دارای یک دسته ناپیوستگی غالب با وضعیت $110^{\circ}/20^{\circ}$ NE و فاصله‌داری ۱ متر که حاصل از استیلولیت‌های موازی با لایه‌بندی است (شکل ۱۰). با در نظر گرفتن بلوک‌های غیر اقتصادی با حجم بلوک کمتر از ۳ متر مکعب (Shafi'i, 2012) و بدون اعمال راستای استخراج ۴/۷۶ درصد از بلوک ایجاد شده، قابل استفاده نیستند. با در نظر گرفتن راستای استخراج، پارامترهای امتداد اصلی و فاصله‌داری ناپیوستگی، ابعاد پله جبهه کار و راستای مسیر استخراج فعلی در مقیاس ۳۰ متری مدل آن ساخته شده است. این نرم‌افزار قادر است تعداد بلوک‌های ایجاد با حجم‌های مختلف را بدهد. در این جبهه کار ۱۷۰۸ بلوک ایجاد شده با حجم‌های مختلف را به اکسل منتقل کرده و براساس ۴۷۸ بلوک‌های با حجم کمتر از ۳ متر مکعب، درصد بلوک‌های با حجم کمتر از ۳ متر مکعب محاسبه شد که در این صورت ۲۷/۹۸ درصد بلوک‌های ایجاد شده حجمی کمتر از ۳ متر مکعب دارند و بدلیل خرد شدن زیاد سنگ قابلیت استفاده برای سنگ- ساختمانی را ندارند (شکل ۱۱). در محیط اکسل نمودار درصد حجمی-تجمعی برای بدون اعمال راستای استخراج و با اعمال راستای استخراج رسم شد که میزان ضریب هم بستگی R^2 آن به ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۸ است (شکل ۱۲).



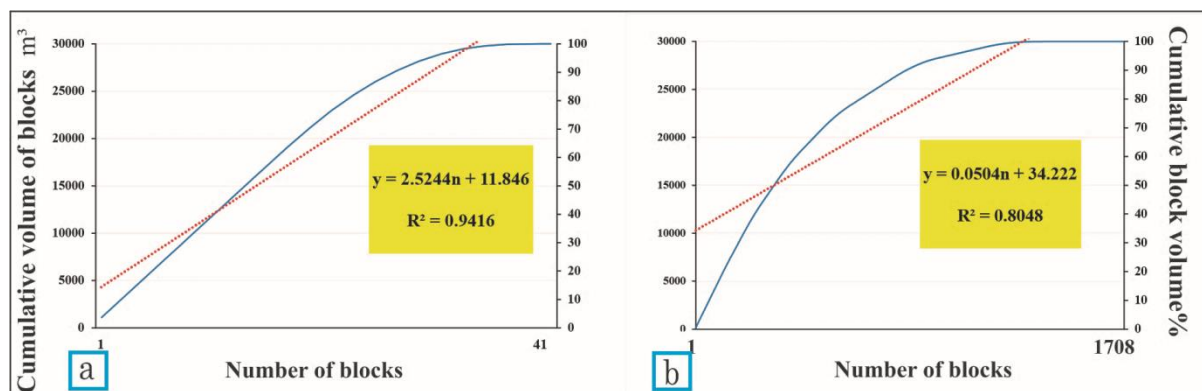
شکل ۱۰- نمای از جبهه کار ۱: ناپیوستگی‌های مؤثر با نظر گرفتن طول ناپیوستگی‌ها با تعداد فراوانی زیاد، استیلولیت‌ها می‌باشند که در این محدوده موازی با امتداد لایه‌بندی هستند.

Fig. 10. View of the Face 1: Effective discontinuities by considering the length of discontinuities in large numbers are stylolites, which in this range are parallel to the strike bedded.



شکل ۱۱- (a) نمایی از جبهه کار ۱ با ابعاد پله برش $3 \times 10 \times 15$ متر، (b) مدل سه بعدی ناپیوستگی‌ها بدون اعمال راستای استخراج و فاصله ناپیوستگی حاصل از استیلولیت‌ها ۱ متر است، (c) مدل سه بعدی ناپیوستگی‌ها با اعمال راستای استخراج و (d) مدل ناپیوستگی‌های با حجم کمتر از 3 m^3 مترمکعب بدلیل خرد شدن زیاد سنگ قابلیت استفاده برای سنگ‌ساختمانی را ندارند.

Fig. 11 (a) View of the Face 1 with cutting step dimensions of $3 \times 10 \times 15$ meter, (b) 3D model of discontinuities without applying the extraction direction and the discontinuity distance from the stylolite is 1 meter, (c) 3D model of discontinuities with applying the extraction direction, and (d) Discontinuity model with a volume of less than 3m^3 that can not be used for building stone due to excessive crushing of stone.

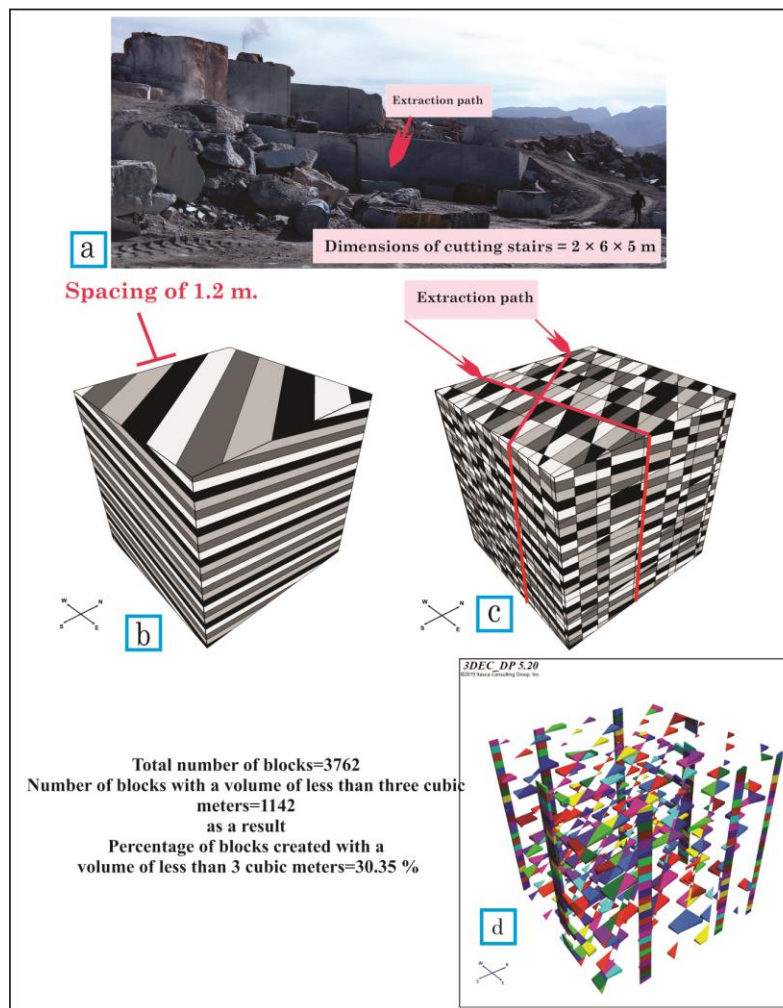


شکل ۱۲- نمودار درصد حجمی - تجمعی بلوک‌ها در جبهه کار ۱: (a) بدون اعمال راستای استخراج و ضریب هم‌بستگی ۰/۹۴ و (b) با اعمال راستای استخراج و ضریب هم‌بستگی ۰/۸.

Fig. 12. Volumetric-cumulative percentage diagram of blocks Face 1: (a) Without applying extraction direction and correlation coefficient 0.94 and (b) with application of extraction direction and correlation coefficient 0.8.

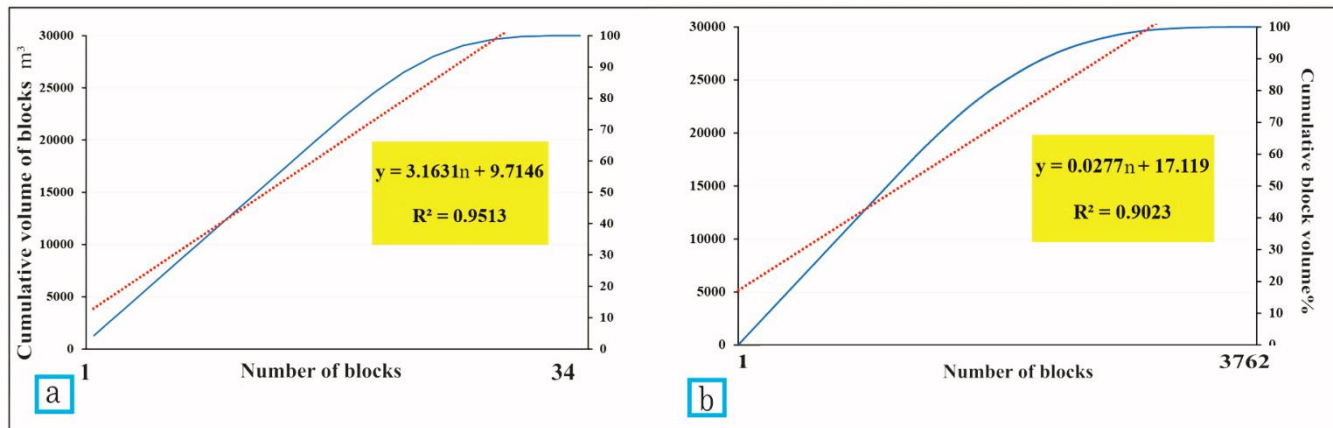
در این جبهه کار ۳۷۶۲ بلوک ایجاد شده با حجم‌های مختلف را به اکسل منتقل کرده و براساس ۱۱۴۲ بلوک‌های با حجم کمتر از ۳ متر مترمکعب، ۳۰/۳۵ درصد بلوک‌های ایجاد شده حجمی کمتر از ۳ متر مکعب دارند و بدلیل خرد شدن زیاد سنگ قابلیت استفاده برای سنگ‌ساختمانی را ندارند (شکل ۱۳). در محیط اکسل نمودار درصد حجمی - تجمعی برای بدون اعمال راستای استخراج و با اعمال راستای استخراج رسم شد. میزان ضریب هم بستگی R^2 آن به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۹ است (شکل ۱۴).

در جبهه کار ۲ وضعیت لایه‌بندی $140^{\circ}/15^{\circ}NE$ و ابعاد پله جبهه کار $2 \times 6 \times 5$ متر می‌باشد. ارتفاع پله استخراجی از یک طبقه لایه‌بندی ۶ متر تشکیل شده است. این جبهه کار دارای یک دسته ناپیوستگی غالب با وضعیت $140^{\circ}/15^{\circ} NE$ و فاصله‌داری ۱/۲ متر که حاصل از استیلولیت‌های موازی با لایه‌بندی است. با در نظر گرفتن بلوک‌های غیر اقتصادی (حجم بلوک کمتر از ۳ متر مکعب) و بدون در نظر گرفتن راستای استخراج ۵/۸۸ درصد از بلوک ایجاد شده، قابل استفاده نیستند.



شکل ۱۳- (a) نمایی از جبهه کار ۲ با ابعاد پله برش $2 \times 6 \times 5$ متر، (b) مدل سه بعدی ناپیوستگی‌ها بدون اعمال راستای استخراج و فاصله ناپیوستگی حاصل از استیلولیت‌ها ۱،۲ متر است، (c) مدل سه بعدی ناپیوستگی‌ها با اعمال راستای استخراج و (d) مدل ناپیوستگی‌های با حجم کمتر از ۳ مترمکعب که بدلیل خرد شدن زیاد سنگ قابلیت استفاده برای سنگ‌ساختمانی را ندارند.

Fig. 13. (a) View of the Face 2 with cutting step dimensions of $2 \times 6 \times 5$ meter, (b) 3D model of discontinuities without applying the extraction direction and the discontinuity distance from the stylolite is 1.2 meter, (c) 3D model of discontinuities with applying the extraction direction, (d) Discontinuity model with a volume of less than $3m^3$ that can not be used for building stone due to excessive crushing of stone.



شکل ۱۴- نمودار درصد حجمی - تجمعی بلوک‌ها جبهه کار ۲: (a) بدون اعمال راستای استخراج و ضریب هم‌بستگی ۰/۹۵ و (b) با اعمال راستای استخراج و ضریب هم‌بستگی ۰/۹.

Fig. 14. Volumetric-cumulative percentage diagram of blocks Face 2: (a) Without applying extraction direction and correlation coefficient 0.95 and (b) with application of extraction direction and correlation coefficient 0.8.

استخراج و با اعمال راستای استخراج رسم شد. میزان ضریب هم بستگی R^2 آن به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۸۵ است (شکل ۱۶). نتایج حاصل از سه جبهه کار برای دو حالت، (I) بدون اعمال راستای استخراج و (II) با اعمال راستای استخراج به صورت جدول ۱ ارائه شده است.

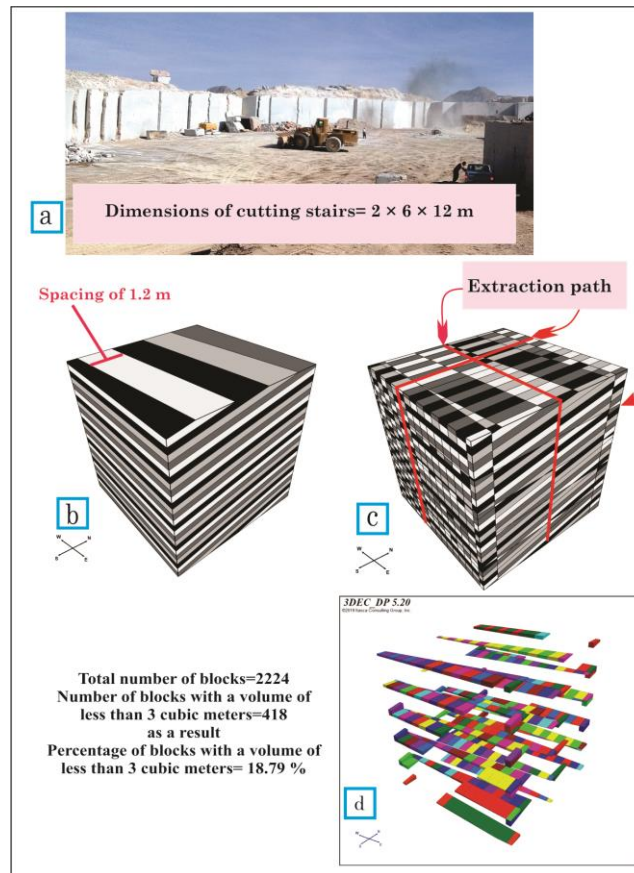
افزایش بازدهی استخراج با تغییر در راستای جبهه کار

با توجه به وضعیت ناپیوستگی‌ها، ابعاد پله در هر یک از جبهه-کارها و حجم غیرقابل استفاده از سنگ استخراجی در هر پله، پیشنهاد می‌شود جهت افزایش بازدهی استخراج، راستای جبهه کار تغییر یابد. در این پژوهش وضعیت جدید برای پله در جبهه کارهای ۱، ۲ و ۳ در مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشر پیشنهاد شده است:

راستاهای مختلف برای به دست آوردن بهترین راستا جهت افزایش بازدهی برای جبهه کار ۱ مورد بررسی قرار گرفت که براین اساس دو راستای صفر و ۹۰ درجه که میزان بلوک‌های با حجم کمتر از ۳ مترمکعب آن‌ها به ترتیب ۱۲/۲۴ درصد و ۱۲/۰۱ درصد پیش‌بینی می‌گردد به عنوان راستاهای جدید جبهه کار استفاده شوند (شکل ۱۷). بدین ترتیب میزان خردشدگی و ضایعات ۱۵/۷۴ و ۱۵/۹۷ درصد کاهش می‌یابد (شکل ۱۸).

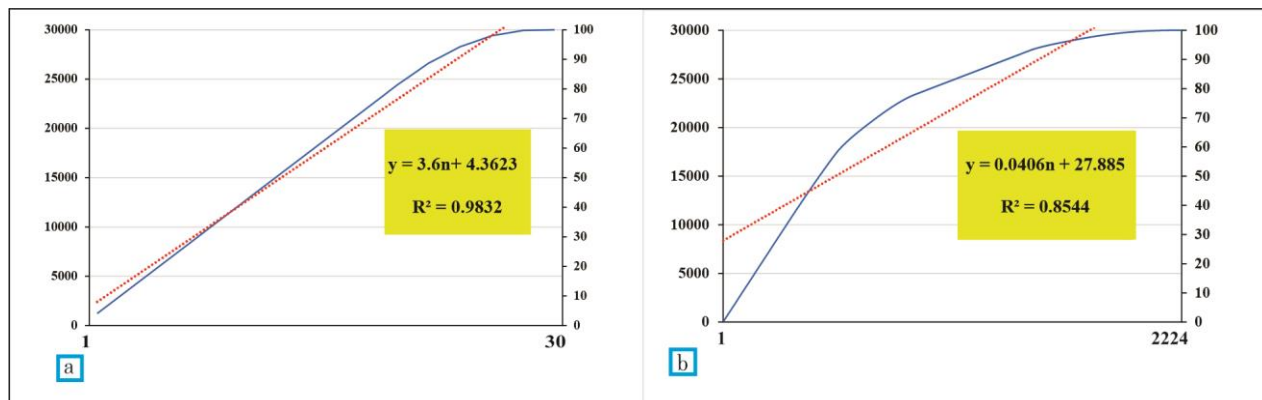
در جبهه کار ۳ وضعیت لایه‌بندی $85^\circ/10^\circ$ SE و ابعاد پله جبهه کار $2 \times 6 \times 12$ متر می‌باشد. ارتفاع پله استخراجی از یک طبقه لایه‌بندی ۶ متر تشکیل شده است. این جبهه کار دارای یک دسته ناپیوستگی غالب با وضعیت $85^\circ/10^\circ$ SE و فاصله‌داری ۱/۲ متر که حاصل از استیلولیت‌های موازی با لایه‌بندی است. با در نظر گرفتن بلوک‌های غیر اقتصادی (ابعاد بلوک کمتر از ۳ متر مکعب) و بدون تأثیر مسیر استخراج تقریباً همگی بلوک‌های ایجاد شده قابل استفاده می‌باشد.

در این جبهه کار نیز طبق دو جبهه کار قبلی، با در نظر گرفتن راستای استخراج پارامترهای امتداد اصلی و فاصله‌داری ناپیوستگی، ابعاد پله جبهه کار و راستای مسیر استخراج فعلی در مقیاس ۳۰ متری مدل آن ساخته شده است. در این جبهه کار ۲۲۲۴ بلوک ایجاد شده با حجم‌های مختلف را به اکسل منتقل کرده و براساس ۴۱۸ بلوک-های با حجم کمتر از ۳ مترمکعب، درصد بلوک‌های با حجم کمتر از ۳ مترمکعب محاسبه شد که در این صورت ۱۸/۷۹ درصد بلوک‌های ایجاد شده حجمی کمتر از ۳ متر مکعب دارند و بدلیل خرد شدن زیاد سنگ قابلیت استفاده برای سنگ ساختمانی را ندارند (شکل ۱۵). در محیط اکسل نمودار درصد حجمی - تجمعی برای بدون اعمال راستای



شکل ۱۵- (a) نمایی از جبهه کار ۳ با ابعاد پله برش $2 \times 6 \times 12$ متر، (b) مدل سه بعدی ناپیوستگی‌ها بدون اعمال راستای استخراج و فاصله ناپیوستگی حاصل از استیلولیت‌ها ۱٫۲ متر است، (c) مدل سه بعدی ناپیوستگی‌ها با اعمال راستای استخراج و (d) مدل ناپیوستگی‌های با حجم کمتر از ۳ مترمکعب که بدلیل خرد شدن زیاد سنگ قابلیت استفاده برای سنگ‌ساختمانی را ندارند.

Fig. 15. (a) View of the face 3 with cutting step dimensions of $2 \times 6 \times 12$ meter, (b) 3D model of discontinuities without applying the extraction direction and the discontinuity distance from the stylolite is 1.2 meter, (c) 3D model of discontinuities with applying the extraction direction, and (d) Discontinuity model with a volume of less than 3m^3 that can not be used for building stone due to excessive crushing of stone.



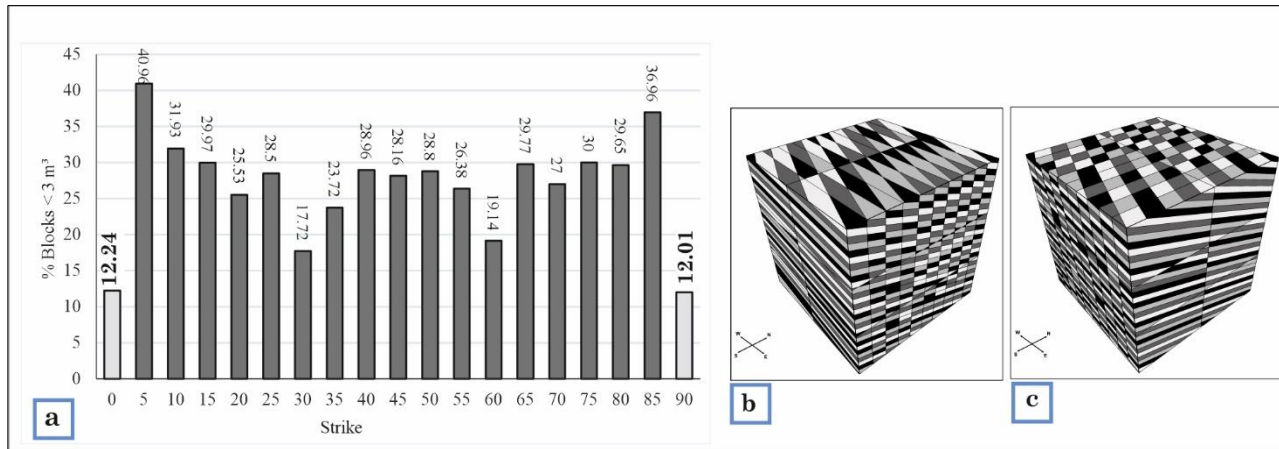
شکل ۱۶- نمودار درصد حجمی - تجمعی بلوک‌ها جبهه کار ۳: (a) بدون اعمال راستای استخراج و ضریب هم‌بستگی ۰/۹۸ و (b) با اعمال راستای استخراج و ضریب هم‌بستگی ۰/۸۵.

Fig. 16. Volumetric-cumulative percentage diagram of blocks Face 3: (a) Without applying extraction direction and correlation coefficient 0.98 and (b) with application of extraction direction and correlation coefficient 0.85.

جدول ۱- مشخصات دسته درزه ها و محاسبه درصد حجمی کمتر از ۳ مترمکعب: (I) بدون اعمال راستای استخراجی، (II) با اعمال راستای استخراجی.

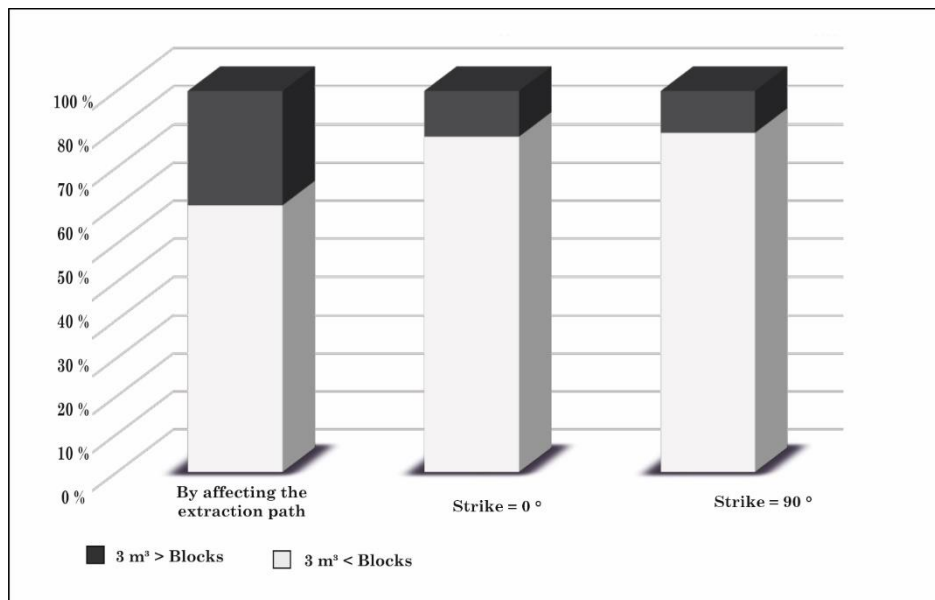
Table 1. Joint set specifications and volume percentages less than 3 cubic meters: (I) No effect of extraction path- (II) with affecting the extraction path.

| Face | | =Main discontinuity sets <i>Strike and dip direction</i> | Average distance between joints (m) | Dimensions of the block | Volume percentage < 3 m ³ |
|------|----------------|---|---|----------------------------|--|
| 1 | Long:579607.2 | I | 110° / 20° NE | 1 m | 4/76 |
| | Lat: 3588188.8 | II | | | 3×10×15 m |
| 2 | Long:580358.3 | I | 140° / 15° NE | 1.2 m | 5/88 |
| | Lat: 3587842.1 | II | | | 2×6×5 m |
| 3 | Long:577694.4 | I | 85° / 10° SE | 1.2 m | < 1 |
| | Lat:3589994.8 | II | | | 2×6×12 m |



شکل ۱۷- جبهه کار ۱: (a) نمودار بررسی راستاهای مختلف برای بدست آوردن بهترین راستا جهت افزایش بازدهی استخراج و پیشنهاد دو راستا صفر و ۱۲/۲۴ درصد حجمی کمتر از ۳ متر مکعب و ۹۰ درجه ۱۲/۰۱ درصد حجمی کمتر از ۳ متر مکعب، (b) مدل سازی ناپیوستگی‌ها با راستای پیشنهادی: صفر درجه و (c) مدل سازی ناپیوستگی‌ها با راستای پیشنهادی: ۹۰ درجه.

Fig. 17. Face 1: (a) Survey diagram of different strikes to get the best strike to increase extraction efficiency and suggestion of two strikes of zero strike of zero degree with 12/24 volume percentage $< 3 \text{ m}^3$ and 90° with 12/01 volume percentage $< 3 \text{ m}^3$, (b) Modeling discontinuities with the suggested strike: Zero degree and (c) Modeling discontinuities with the suggested strike: 90°.

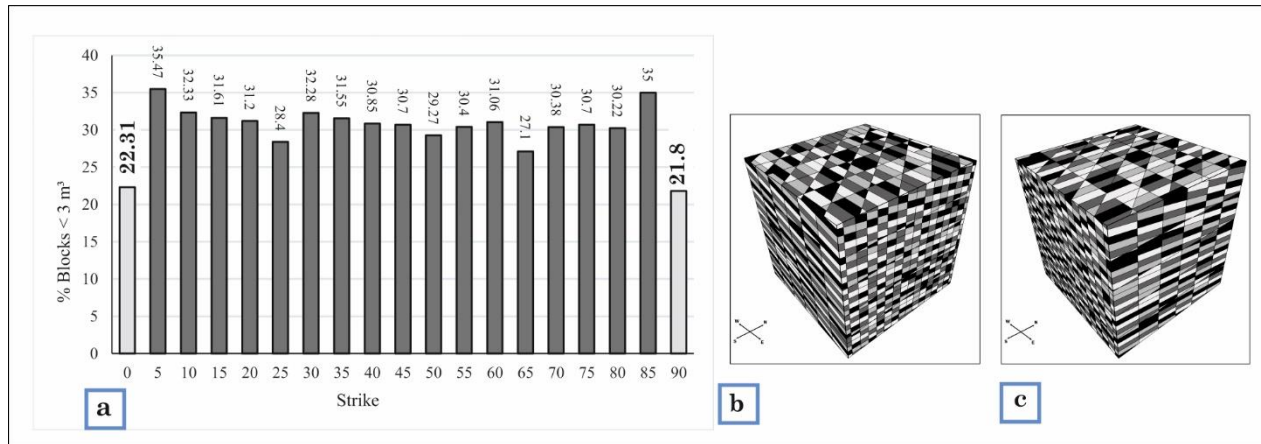


شکل ۱۸- جبهه کار ۱: نمودار حجم بلوک‌های کمتر و بیشتر از 3 m^3 برای مرحله با تأثیر مسیر استخراج و دو راستای پیشنهادی صفر و ۹۰ درجه.

Fig. 18. Face 1: Diagram of the blocks with less and more volume than 3 m^3 with affecting the extraction path stage and two suggested strikes, zero and 90 degrees.

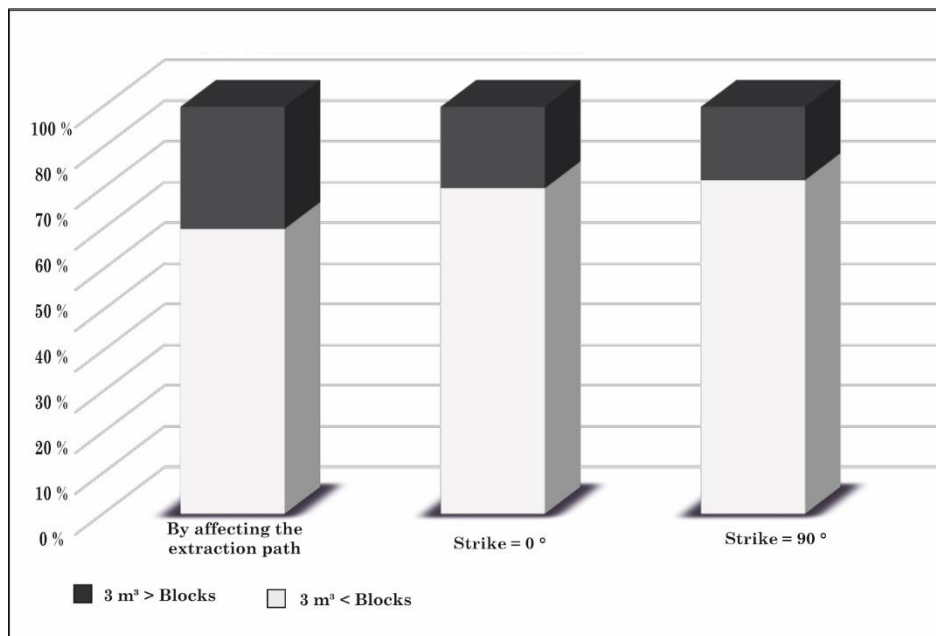
می‌گردد به عنوان راستاهای جدید جبهه کار استفاده شوند (شکل ۱۹). بدین ترتیب میزان خردشدگی و ضایعات ۸/۰۴ درصد و ۸/۵۶ درصد کاهش می‌یابد (شکل ۲۰).

راستاهای مختلف برای به دست آوردن بهترین راستا جهت افزایش بازدهی برای جبهه کار ۲ مورد بررسی قرار گرفت که دو راستای صفر و ۹۰ درجه، که میزان بلوک‌های با حجم کمتر از ۳ مترمکعب آن‌ها به ترتیب ۲۲/۳۱ درصد و ۲۱/۷۹ درصد پیش‌بینی



شکل ۱۹- جبهه کار ۲: (a) نمودار بررسی راستاهای مختلف برای بدست آوردن بهترین راستا جهت افزایش بازدهی استخراج و پیشنهاد دو راستا صفر ۲۲/۳۱ درصد حجمی کمتر از ۳ متر مکعب و ۹۰ درجه ۲۱/۸ درصد حجمی کمتر از ۳ متر مکعب، (b) مدل سازی ناپیوستگی‌ها با راستای پیشنهادی: صفر درجه و (c) مدل سازی ناپیوستگی‌ها با راستای پیشنهادی: ۹۰ درجه.

Fig. 19. Face 2: (a) Survey diagram of different strikes to get the best strike to increase extraction efficiency and suggestion of two strikes of zero strike of zero degree with 22/31 volume percentage < 3 m³ and 90° with 21/8 volume percentage < 3 m³, (b) Modeling discontinuities with the suggested strike: Zero degree, and (c) Modeling discontinuities with the suggested strike: 90°.

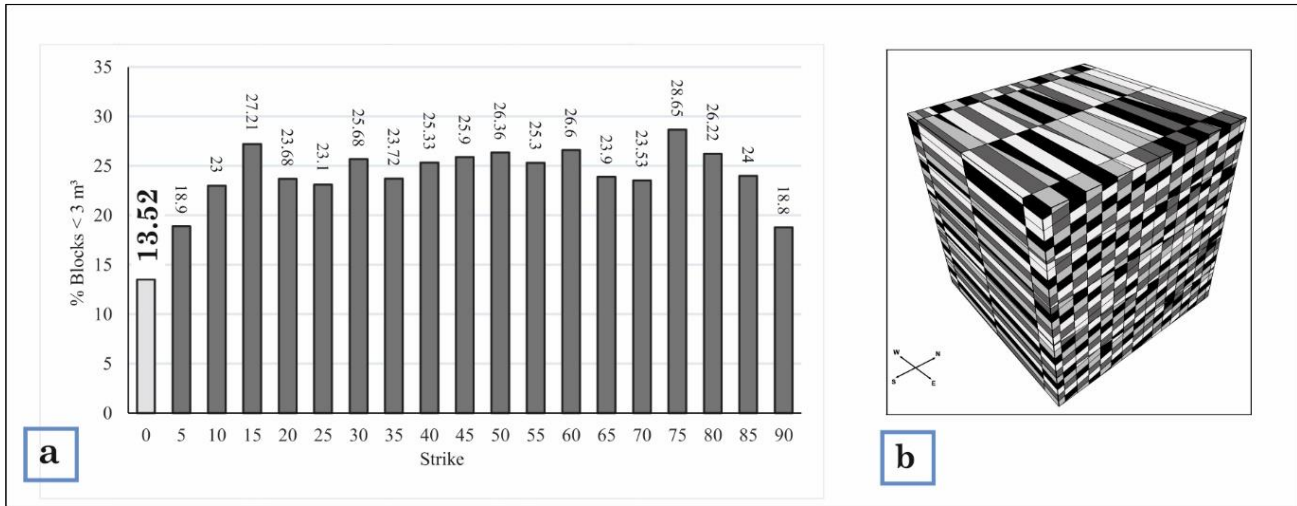


شکل ۲۰- جبهه کار ۲: نمودار حجم بلوک‌های کمتر و بیشتر از 3 m³ برای مرحله با تأثیر مسیر استخراج و دو راستای پیشنهادی صفر و ۹۰ درجه.

Fig. 20. Face 2: Diagram of the blocks with less and more volume than 3 m³ for with affecting the extraction path stage and two suggested strikes zero and 90 degrees.

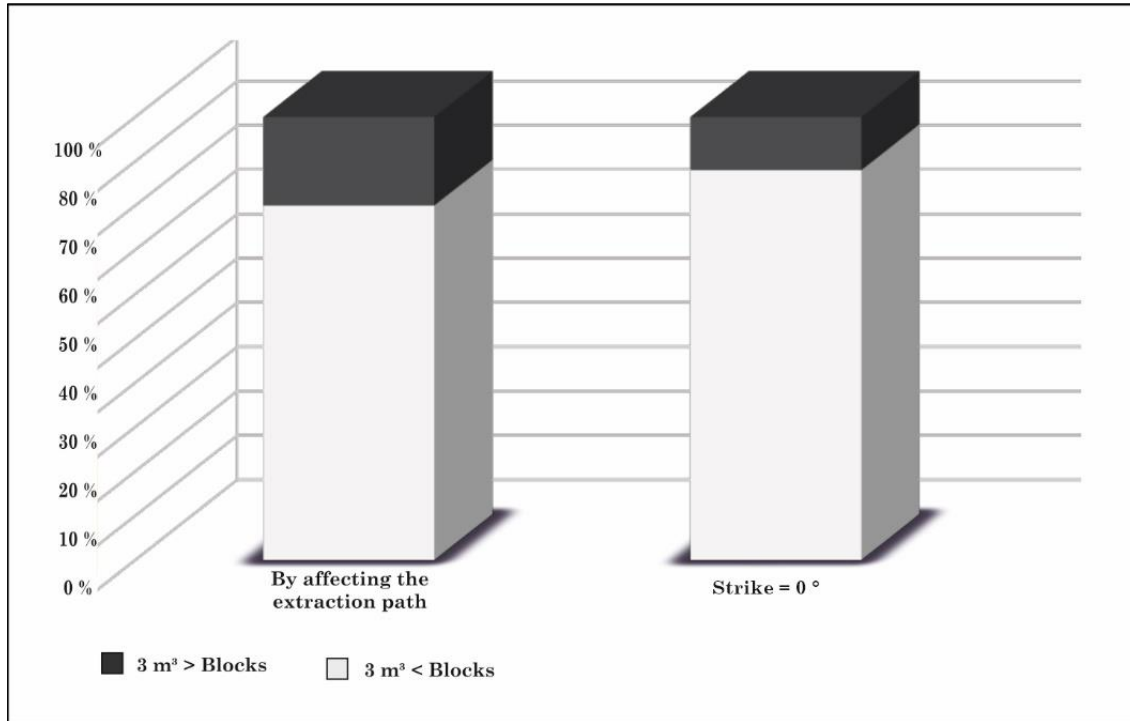
شوند (شکل ۲۱). بدین ترتیب میزان خردشدگی و ضایعات ۵/۲۷ درصد کاهش می‌یابد (شکل ۲۲). نتایج حاصل از تغییر در راستای سه جبهه کار مورد مطالعه جهت افزایش بازدهی استخراج به صورت اجمالی در جدول ۲ ارائه شده است.

راستاهای مختلف برای به دست آوردن بهترین راستا جهت افزایش بازدهی برای جبهه کار ۲ مورد بررسی قرار گرفت که راستای صفر درجه، که میزان بلوک‌های با حجم کمتر از ۳ متر مکعب آن‌ها ۱۳/۵۲ درصد پیش‌بینی می‌گردد به عنوان راستاهای جدید جبهه کار استفاده



شکل ۲۱- جبهه کار ۳: (a) نمودار بررسی راستاهای مختلف برای بدست آوردن بهترین راستا جهت افزایش بازدهی استخراج و پیشنهاد راستای صفر درجه با ۱۳/۵۲ درصد حجمی کمتر از ۳ متر مکعب و (b) مدل سازی ناپیوستگی‌ها با راستای پیشنهادی صفر درجه.

Fig. 21. Face 3: (a) Survey diagram different strikes to get the best strike to increase extraction efficiency and suggestion strike of zero degree with 13/52 volume percentage < 3 m³ and (b) Modeling discontinuities with the suggestion strike zero.



شکل ۲۲- جبهه کار ۳: نمودار حجم بلوک‌های کمتر و بیشتر از 3m³ برای مرحله با تأثیر مسیر استخراج و دو راستای پیشنهادی صفر درجه.

Fig. 22. Face 3: Diagram of the blocks with less and more volume than 3 m³ for with affecting the extraction path stage and two suggested strike zero degree.

جدول ۲- نتایج حاصل از تغییر در راستای جبهه کار جهت افزایش بازدهی استخراج.

Table 2. Results of a change in face strike to increase extraction efficiency.

| Face | Study Strike Face | A=By affecting the extraction path; Volume percentage < 3 m ³ | Suggested strike | B =Suggested strike; Volume percentage < 3 m ³ | Decreased percentage = A-B |
|------|-------------------|---|------------------|---|-------------------------------|
| 1 | 135° | 27/98% | 90° | 12/01% | 15/97% |
| | | | 0° | 12/24% | 15/74% |
| 2 | 75° | 30/835% | 90° | 21/79% | 21/79% |
| | | | 0° | 22/31% | 22/31% |
| 3 | 90° | 18/79% | 0° | 13/52% | 5/27% |

نتیجه گیری

در این پژوهش برای سه جبهه کار از مجموعه معدنی سنگ- ساختمانی لاشتر جهت بهینه سازی استخراج بلوک های سنگی وضعیت و فاصله داری ناپیوستگی های رخنمون یافته در سطح و در سطح برش سینه کارهای فعال برداشت شدند با رسم نمودار گل سرخی با نظر گرفتن طول ناپیوستگی ها با تعداد فراوانی زیاد، چنین نتیجه شد که مؤثرترین امتداد در این محدوده، استیلولیت های موازی با لایه بندی با فاصله داری ۱-۲ متر هستند.

درصد حجمی بلوک های غیر اقتصادی ($< 3 \text{ m}^3$) با استفاده از مدل تهیه شده در نرم افزار 3DEC در دو حالت با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن راستای جبهه کار فعلی محاسبه شد که بیانگر طراحی نادرست راستای جبهه کارهای فعلی است.

به منظور افزایش بازدهی استخراج و کاهش ضایعات و با در نظر گرفتن وضعیت ناپیوستگی ها و ابعاد پله در هر یک از جبهه کارها، پیشنهاد می شود که راستای جبهه کار تغییر یابد. بدین صورت که در جبهه کار ۱ که در حال حاضر دارای راستای فعال ۱۳۵ درجه است، استخراج در راستاهای صفر و ۹۰ درجه انجام گردد. در جبهه کار ۲ که

منابع

- Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran. Geological Society of Iran Publications, p. 586.
 Arzani, N., 2007. Diagenetic processes (silicification and stylolite) and their role in quality of marbel quarry, a study of in Central Iran. Proceedings of the Fifth conference of the geological society of Iran. Geological and Mineral Exploration of Iran.
 Baecher, G.B., 1983. Statistical analysis of rock mass fracturing. Mathematical Geology 15, 329-348.

دارای راستای فعال ۷۵ درجه است استخراج در راستاهای صفر و ۹۰ درجه طراحی گردد و در جبهه کار ۳ که دارای راستای فعال ۹۰ درجه است استخراج راستای صفر درجه تغییر یابد. بنابراین مطالعه و بررسی وضعیت ناپیوستگی ها، قبل از شروع عملیات استخراج به منظور برنامه ریزی جهت حداکثر کوپ دهی، داشتن کمترین میزان ضایعات و افزایش تراکم آن ها تأثیر عمده ای در بازدهی استخراج دارد. اگر در توده سنگ استخراج انجام نشده و ناپیوستگی های عمقی موجود در لایه بندی و سطح برش در جبهه کار دیده نمی شود ترکیبی از روش های مغزه گیری و ژئورادار توصیه می شود.

قدردانی

از سرکار خانم مهندس عموسلطانی، جناب مهندس بقائی، مجموعه ی سینه کارداران معدنی سنگ ساختمانی لاشتر، جناب دکتر یاراحمدی، جناب دکتر باقرپور و جناب اسکندری جهت راهنمایی ها و همراهی شان برای به ثمر رسیدن این پژوهش تشکر و قدردانی می شود.

- Barton, N., 1990. Scale effects or sampling bias. *Scale Effects in Rock Mechanics*, pp. 31-55.
- Brady, B.H., Brown, E.T., 2013. *Rock mechanics for underground mining*. Springer Science & Business Media 385, pp. 597.
- Darvishzadeh, A., 1991. *Geology of Iran*. Amir Kabir Publications, p. 901.
- Dearman, W., 2013. *Engineering geological mapping*, Elsevier.
- Fahimifar, J., 2002. Competitiveness of building and decorative stones processing units in global markets Report of the second phase, Industrial, Educational and Information Research Project. Ministry of Industries and Mines, pp. 118.
- Fossen, H., 2016. *Structural geology*. Cambridge University Press, p. 456.
- Ghasemi, A., Talbot, C.J., 2006. A new tectonic scenario for the Sanandaj–Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences* 26(6), 683-693.
- Ghorbani, M., 2007. *Economic Geology of Mineral and Natural Resources of Iran*, Arinezamin Publications, Tehran, p. 465.
- Itasca, 2016. *3DEC User Manual Version 5.2*. Minneapolis: Itasca Consulting Group.
- Jearsarai, M., 2011. Survey of the effect of geometrical parameters of fractures on the exploration stage of rock and facade deposits to reduce waste and optimize extracted blocks, MSc Thesis, Isfahan University of Technology.
- Larbi, J., 2003. Effect of stylolites on the durability of building stones: two case studies. *Heron-English edition* 48, 231-247.
- Mansouri, H., 2000. Contribution al analyse des effets des tirs d abattage, Mines de sar chesmeh (IRAN), PhD Thesis.
- McClay, K.R., 2013. The mapping of geological structures, *Geological Society of London Handbook Series*, p.168.
- Mosch, S., Nikolayew, D., Ewiak, O., Siegesmund, S., 2011. Optimized extraction of dimension stone blocks. *Environmental Earth Sciences*, pp.1911-1924.
- Nadimi, A., Konon, A., 2012. Strike-slip faulting in the central part of the Sanandaj-Sirjan Zone, Zagros orogen, Iran. *Journal of Structural Geology* 40, 2-16.
- Orei, K., Sidi, M., Haghghat, L., 2004. Production Planning in Decorative Stone quarry (Case Study in Atabaki Stone Mine). *Iran Mining Engineering Conference*, Tarbiat Modares University.
- Palmstrom, A., 1985. Application of the volumetric joint count as a measure of rock mass jointing. In *International Symposium on Fundamentals of Rock Joints*, 103-110.
- Palmstrom, A., 1996. RMI-a system for characterizing rock mass strength for use in rock engineering. *Journal of Rock Mechanics and Tunneling Technology* 1, 69-108.
- Palmstrom, A., 2005. Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). *Tunnelling and Underground Space Technology* 20, 362-377.
- Palmstrom, A., Singh, R., 2001. The deformation modulus of rock masses comparisons between in situ tests and indirect estimates. *Tunnelling and Underground Space Technology* 16, 115-131.
- Safaei, H., 2005. Final Research Identification Research Report and seismic analysis of faults around Isfahan, University of Isfahan, p. 116.
- Safaei, H., 2009. The continuation of the Kazerun fault system across the Sanandaj-Sirjan zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences* 35, 391-400.
- Sainsbury, B., Pierce, M., Mas Ivars, D., 2008. Simulation of rock mass strength anisotropy and scale effects using a Ubiquitous Joint Rock Mass (UJRM) model, *Proceedings First International FLAC/DEM Symposium on Numerical Modelling*, 25-27.
- Sen, Z., Eissa, E.A., 1992. Rock quality charts for log-normally distributed block sizes. *International journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, pp. 1-12.
- Shafi'i, Sh., Ebadi, M., Torkashvand, M., 2012. Fracutre analysis in stone quarries and application in extraction optimization (A Case Study of Saeedi Building Stone, Kerman). *Journal of Earth Sciences*, pp. 89-98.
- Shaykh al-Islami, M.R., 2014. Tectonic units - stratigraphy of the southeastern part of Sanandaj – Sirjan. *Geosciences Research Institute. Geological Survey and Mineral Exploration Organization*, pp. 243-252.

- Sousa, L.M.O., 2010. Evaluation of joints in granitic outcrops for dimension stone exploitation. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* 43, 85-94.
- Tanzadeh, P., 2017. Fracture analysis in the Lashotor stone quarry complex and its application in extraction optimization, MSc Thesis, University of Isfahan.
- Tercan, A.E., Ozcelik, Y., 2000. Geostatistical evaluation of dimension stone quarries. *Engineering Geology* 58, 33-55.
- Tillman, J.E., Poosti, A., Rossello, S., Eckert, A., 1981. Structural evolution of Sanandaj-Sirjan ranges near Isfahan, Iran. *AAPG Bulletin* 65, 674-687.
- Ulker, E., Turanboy, A., 2009. Maximum volume cuboids for arbitrarily shaped in-situ rock blocks as determined by discontinuity analysis-A genetic algorithm approach. *Computers & Geosciences* 35, 1470-1480.
- Wang, H., Latham, J.P., Poole, A.B., 1991. Predictions of block size distribution for quarrying. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* 24, 91-99.
- Warburton, P.M., 1983. Applications of a new computer model for reconstructing blocky rock geometry-analysing single block stability and identifying keystones. In 5th ISRM Congress. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering, PP. 225-230.
- Warburton, P.M., 1985. A computer program for reconstructing blocky rock geometry and analyzing single block stability. *Computers & Geosciences* 11, 707-712.
- Xu, H., Wu, Q., 2001. A framework modeling of geological related spatial data in 3D scene. In Proceedings of the 6th International Symposium on Future Software Technology, Zhengzhou, China, 252-257.
- Yarahmadi, R., Bagherpour, R., Kakaie, R., Mirzaie, N.H., Yari, M., 2014. Development of 2D computer program to determine geometry of rock mass blocks. *International Journal of Mining Science and Technology* 24, 191-194.
- Yarahmadi, R., Bagherpour, R., Taherian, S.G., Sousa, L.M., 2018. Discontinuity modelling and rock block geometry identification to optimize production in dimension stone quarries. *Engineering Geology* 232, 22-33.
- Yarahmadi, R., Bagherpour, R., Taherian, S.G., Sousa, L.M., 2018. Optimization of quarrying using modelling discontinuities and in situ blocks. *Journal of Mining Engineering* 45, pp. 9.
- Zahedi, M., 1976. Shahreza Geological Map Scale 1/100000, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.

